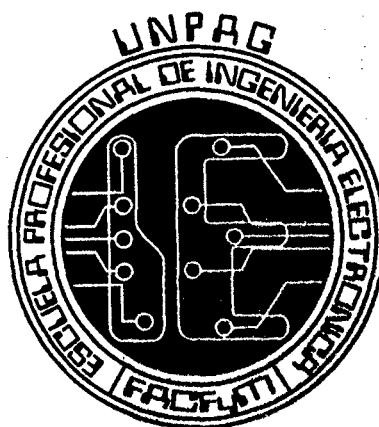




UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



**"DISEÑO DE UN SISTEMA PARA EL AHORRO DE ENERGÍA EN EL EDIFICIO PARK
OFFICE LA MOLINA"**

TESIS

PARA OPTAR EL GRADO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

PRESENTADA POR:

Br. Dany Manuel Eduardo Siadén Paiva

ASESOR:

Ing. Oscar Uchelly Romero Cortez

LAMBAYEQUE - PERÚ

2016



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



**“DISEÑO DE UN SISTEMA PARA EL AHORRO DE ENERGÍA EN EL EDIFICIO PARK
OFFICE LA MOLINA”**

TESIS

PARA OPTAR EL GRADO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

PRESENTADA POR:

Br. Dany Manuel Eduardo Siadén Paiva

ASESOR:

Ing. Oscar Uchelly Romero Cortez

LAMBAYEQUE – PERÚ

2016



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



**“DISEÑO DE UN SISTEMA PARA EL AHORRO DE ENERGÍA EN EL EDIFICIO PARK
OFFICE LA MOLINA”**

TESIS

PARA OPTAR EL GRADO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

PRESENTADA POR:

Br. Dany Manuel Eduardo Siadén Paiva

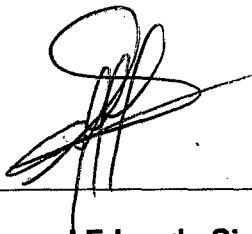
JURADO CALIFICADOR:

Ing. Manuel Javier Ramírez Castro
PRESIDENTE
Ing. Luis Carlos Leonardo Oblitas Vera
SECRETARIO
Ing. Lucía Isabel Chamán Cabrera
VOCAL

LAMBAYEQUE – PERÚ
2016

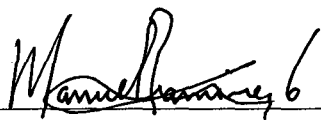
**DISEÑO DE UN SISTEMA PARA EL AHORRO DE ENERGÍA EN EL EDIFICIO PARK
OFFICE LA MOLINA**

Elaborado por el bachiller...

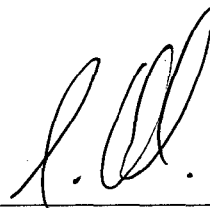


Br. Dany Manuel Eduardo Siadén Paiva
Tesista

Aprobado por los miembros del jurado...



Ing. Manuel Javier Ramírez Castro
Presidente



Ing. Luis Carlos Leonardo Oblitas Vera
Secretario



Ing. Lucía Isabel Chamán Cabrera
Vocal



Ing. Oscar Uchelly Romero Cortez
Asesor

Gracias a Dios por siempre estar conmigo en
todos los momentos de mi vida, a mis padres
Eduardo y Martha por el apoyo recibido
durante todo este tiempo de mi vida,
a mis hermanas Giset, Sughei, Sandy y Julissa
y a mi abuela Flora que quizás en
estos momentos ya no está con nosotros,
pero estoy seguro que allá en cielo
siempre cuida de mí.

Gracias al ingeniero Victor Jara Sandoval, mi ex
asesor de tesis quien hace unos días falleció.
Gracias a él por todas sus enseñanzas, sus
consejos, sus lecciones, la calidad de persona
y profesional que fue, todo ello hace
que este proyecto de Tesis esté
dedicado en memoria a él.

Gracias a todos ellos que con su esfuerzo y
apoyo hacen de mí un ser mejor y que me
realice profesionalmente.

DANY SIADÉN PAIVA

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas aquellas personas que en algún momento del desarrollo del proyecto me brindaron su apoyo.

Al Ing. Oscar Romero Cortez, mi asesor de tesis, quien con sus conocimientos y enseñanzas me ayudo a encaminar este proyecto.

Al Ing. Victor Jara Sandoval, mi ex-asesor y gran amigo, quien me incentivó y guío en determinados momentos del proceso de la elaboración del Proyecto, logrando así perfeccionarlo y apuntar hacia una tendencia global. Ahora él ya no está con nosotros sin embargo es gracias a él que debo parte de mi trabajo realizado.

Al Ing. Aldo Yenque Gallo, mi Coasesor, quien me apoyó desde el planteamiento del proyecto, y estuvo presente en cada paso durante el desarrollo del mismo, dando sus consejos y ayudándome a sobrellevar cada inconveniente que encontraba en el proceso.

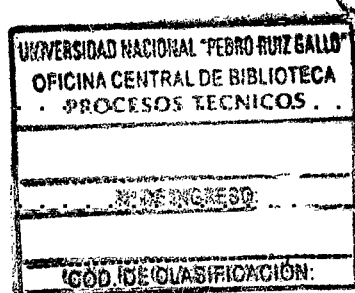
A mi amigo Jesús Quesquén Esquén quien me apoyó moralmente para poder culminar con éxito este Proyecto

A mis familiares y amigos, por estar siempre en los buenos y malos momentos de esta investigación, porque gracias a ellos se logró culminar satisfactoriamente este proyecto de tesis.

DANY SIADÉN PAIVA



TABLA DE CONTENIDOS



LISTA DE FIGURAS	xvii
------------------------	------

LISTA DE TABLAS	xxiv
-----------------------	------

CAPÍTULO 1.

MEMORIA	2
---------------	---

1.1. Situación Problemática	2
-----------------------------------	---

1.1.1. Antecedentes	4
---------------------------	---

1.1.2. Problema	5
-----------------------	---

1.1.3. Hipótesis	5
------------------------	---

1.1.4. Objetivos del Trabajo de Tesis	5
---	---

1.1.4.1. Objetivo Principal	5
-----------------------------------	---

1.1.4.2. Objetivos Secundarios	5
--------------------------------------	---

1.2. Motivación del Proyecto	6
------------------------------------	---

1.2.1. Justificación e Importancia de la Investigación	6
--	---

1.2.2. Alcances del Estudio	7
-----------------------------------	---

1.2.3. Población y muestras Estadísticas del Estudio	7
--	---

1.2.4. Análisis estadístico de los datos	8
1.3. Solución del Sistema de Control	8
1.3.1. Elección del Sistema de Control	8
1.3.2. Justificación de la Solución Adoptada	8
1.4. Diseño del Sistema de Ahorro de Energía	9
1.4.1. Diseño de Iluminación	9
1.4.1.1. Necesidades lumínicas (Lámparas y Luminarias)	9
1.4.1.2. Determinación del tipo de luminarias o lámparas a usarse	10
1.4.2. Diseño Mecánico	10
1.4.3. Diseño de Control	11
1.5. Estudio Económico	13
1.5.1. Presupuesto General de la Investigación	13
1.6. Alcances del Impacto Ambiental	13
1.6.1. Impactos positivos al medio ambiente	13
1.6.2. Impactos negativos al medio ambiente	14
1.7. Consideraciones Finales	14

CAPÍTULO 2.

MARCO TEÓRICO	15
--------------------------------	-----------

2.1. Ahorro Energético	15
2.1.1. Climatización e Iluminación Interior	16
2.1.1.1. Climatización	16
2.1.1.2. Iluminación Interior	17
2.1.1.3. Alumbrado Público	17
2.1.1.4. Sistema BMS	18
2.2. Aire Acondicionado	18
2.2.1. Fundamentos Básicos	18
2.2.2. Clasificación de los Sistemas de Aire Acondicionado	19
2.2.2.1. Sistemas de Expansión Directa	19
2.2.2.2. Sistemas Centrales (Agua Helada)	21
2.3. Certificación leed	25
2.4. Consumo(Energía activa)	28
2.4.1. Componentes de la energía activa	28
2.5. Sistema de Automatización	29
2.5.1. Sistema Automatizado en Edificios	30
2.6. Fundamentos de Control	30
2.6.1. Tipos de Acción de Control	31

2.6.1.1. Acción de dos posiciones (on/off)	32
2.6.1.2. Acción flotante	32
2.6.1.3. Acción proporcional	32
2.6.2. Control PID	33
2.7. Controladores Lógicos Programables	33
2.7.1. Componentes	34
2.7.2. Distribución de los PLC's	35
2.7.3. Lenguajes de Programación de los PLC's	35
2.7.3.1. Lenguaje Ladder	36
2.7.4. PLC CompactLogix	36
2.7.4.1. Controlador CompactLogix 1769	36
2.7.5. PLC MicroLogix	37
2.7.5.1. Micrologix 1400 (1766-L32AWA)	38
2.7.5.2. PLC Micro800	38
2.8. Sensores	40
2.8.1. Tipos de Sensores	40
2.9. Actuadores	44
2.9.1. Actuador Rotatorio Eléctrico	44

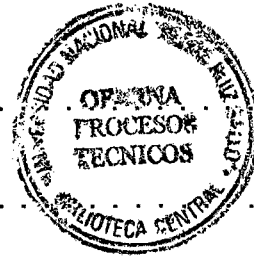
2.9.2. Válvula Mariposa	45
2.9.2.1. Funcionamiento	45
2.10.Motores Eléctricos	46
2.10.1.Características Eléctricas del Motor	46
2.10.1.1. Voltaje	46
2.10.1.2. Intensidad de Corriente	46
2.10.1.3. Potencia	47
2.10.1.4. Rendimiento	47
2.10.2. Métodos de Arranque de los Motores Trifásicos	48
2.10.2.1. Arranque Directo	48
2.10.2.2. Arranque por Variador de Frecuencia	49
2.11.Bombas	50
2.11.1. Bomba Centrífuga	50
2.12.Chiller	51
2.12.1.Funcionamiento del Chiller	52
2.12.1.1. Porqué utilizar este tipo de sistema:	53
2.12.2. Componentes de los Chillers	53
2.12.2.1. El Compresor	53

2.12.2.2. El Evaporador	53
2.12.2.3. El Condensador	54
2.12.2.4. La Válvula Termostática	54
2.12.2.5. Dispositivos y Controles	54
2.12.3. Refrigerante Ecológico	55
2.12.3.1. Requisitos que deben reunir los refrigerantes ecológicos . .	55
2.12.3.2. Refrigerantes ecológicos más usados	56
2.12.3.3. Refrigerante R410A	56

CAPÍTULO 3.

DISEÑO DEL SISTEMA	58
3.1. Diseño de Iluminación	58
3.1.1. Sobre los Sistemas Lumínicos Proyectados	59
3.1.2. Diseño de Iluminación de Áreas Exteriores	59
3.1.3. Diseño de Iluminación de Áreas Interiores	61
3.1.3.1. HALL DE INGRESO OFICINAS	61
3.1.3.2. CIRCULACIONES- AREAS COMUNES PISOS OFICINAS .	62
3.1.3.3. SALAS SUM PARA USO DE OFICINAS	62
3.1.3.4. AREAS ADMINISTRATIVAS Y CAFETERIA	63

3.1.3.5. SOTANOS Y AREAS TECNICAS	64
3.1.4. Resumen de los sistemas de control de Iluminación	64
3.1.5. Diseño Lumínico basadas en los Estándares de Iluminación	65
3.1.6. Resumen de las características principales del presente Diseño Lumínico por tipo de Parámetro	65
3.1.7. Elección de Luminarias y Lámparas según ID Espacio	66
3.1.8. Generalidades sobre las especificaciones Técnicas de Luminarias y Lámparas	67
SOBRE LAMPARAS:	67
SOBRE LUMINARIAS:	68
3.1.9. Ubicación y Metrado de Luminarias	69
3.1.10. Sistema de Puesta a Tierra	71
3.1.10.1. Sistema de Puesta a Tierra de Transformador y Alternador	71
3.1.10.2. Sistema de Tierra para Baja Tensión	71
3.1.10.3. Sistema de Tierra de Cómputo	72
3.1.10.4. Constitución de Pozos a Tierra	72
3.1.10.5. Materiales a usarse en Pozos a Tierra	72
3.1.10.6. Cálculo del Sistema de Puesta a Tierra	73
Detalles de Pozo a Tierra	74
3.2. Diseño Mecánico	74



3.2.1. Generalidades	74
3.2.2. Normas y Códigos	75
3.2.3. EQ indoor Environmental Quality Tratamiento de la calidad del aire	75
3.2.3.1. EQ 1.0 Desempeño Mínimo de Calidad de Aire Interior	75
3.2.3.2. EQ 3.1 Plan de Manejo de Calidad de Aire Interior	76
Durante la Construcción	76
3.2.3.3. EQ 3.2 Plan de Manejo de Calidad de Aire Interior: Antes de la Ocupación	78
3.2.3.4. EQ 7.1 Cumplimiento del Confort Térmico	79
3.2.3.5. EQ 7.2 Monitoreo del Confort Térmico	79
3.2.4. EA Energy and Atmosphere	79
3.2.4.1. EA 2.0 Desempeño Energético Mínimo	79
3.2.4.2. EA 3.0 Reducción de CFC en Equipamiento HVAC&R	80
3.2.4.3. EA 1.3 Optimización de desempeño Energético HVAC	80
3.2.5. Descripción del Sistema	80
3.2.5.1. Aire Acondicionado	80
3.2.5.2. Extracción del Monóxido de Carbono	83
3.2.5.3. Presurización de Escaleras	84
3.2.6. Metodología de Solución	85

3.2.7. Selección de Equipos	87
3.2.7.1. Sistema de Aire Acondicionado	87
3.2.7.2. Sistema de Extracción de Monóxido de Carbono	100
3.2.7.3. Sistema de Presurización de Escaleras	101
3.2.7.4. Sistema de Ventilación de Baños	103
3.3. Diseño de Control	107
3.3.1. Generalidades	107
3.3.2. Características generales	107
3.3.3. Objetivo	108
3.3.4. Sistemas a Controlar	108
3.3.4.1. Listado de Puntos a Controlar- Sistema BMS	110
3.3.5. Planos y Documentos	113
3.3.6. Metrado de Automatización por Planos	114
3.3.7. Normativa Aplicable	115
3.3.8. Sistema del Sistema de Automatización	115
3.3.8.1. Generalidades del Sistema de Automatización	115
3.3.8.2. Controladores De Campo	116
3.3.8.3. Entradas y Salidas de los PLC esclavos	124

3.3.9. Filosofía del Sistema BMS	138
3.3.9.1. Estaciones de Trabajo	144
3.3.9.2. Software De Monitoreo Central	145
3.3.10. Cables y Canalizaciones	153
3.3.11. Pruebas, Entrega y Puesta en Marcha del Sistema	153
3.4. Modelo Matemático	154
3.4.1. Representación en Ecuaciones Diferenciales	156
3.4.2. Representación en Laplace	159
3.4.3. Representación en Espacios de Estado	162
3.4.4. Validación del Modelo	165
3.4.5. Controlabilidad	172
3.4.5.1. Aplicando un controlador proporcional	173
3.4.5.2. Aplicando un controlador Integral	174
CAPÍTULO 4.	
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	175
4.1. Comprobación de la Supervisión de las Variables de control en el prototipo implementado	175
4.1.1. Conexión de los Instrumentos y Configuración del PLC secundario . .	180
4.1.2. Configuración del Sistema de Supervisión	188

4.1.3. Configuración y Resultados del control PID	189
4.2. Eliminación de los picos de corriente y reducción del consumo Energético en el S. de Climatización	191
CAPÍTULO 5.	
ESTUDIO ECONÓMICO	195
5.1. Presupuesto General del Sistema	195
5.1.1. Sistema Mecánico	195
5.1.2. Sistema Eléctrico	196
5.1.3. Sistema Sanitario	197
5.1.4. Sistema Automatización	198
5.1.5. Costos Varios	198
5.1.6. Costo total de la Inversión	199
5.2. Costo total del Proyecto	199
5.3. Vida Útil del Proyecto	200
CONCLUSIONES	201
RECOMENDACIONES	203
BIBLIOGRAFÍA	205
ANEXO A	i
ANEXO B	xiv

ANEXO C	xxxix
ANEXO D	I
ANEXO E	lxxv
ANEXO F	xcvii
ANEXO G	cxix

LISTA DE FIGURAS

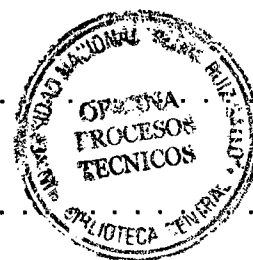
1.1. Edificio Park Office la Molina.	3
1.2. Interior del Edificio Park Office la Molina.	4
2.1. Reparto de Consumo Eléctrico en un Edificio.	16
2.2. Componentes del Aire Acondicionado	19
2.3. Aire Acondicionado de Ventana	20
2.4. Unidad Split	20
2.5. Unidad Compacta (Rooftop)	21
2.6. Chiller	22
2.7. Unidades Condensadoras	23
2.8. Torres de enfriamiento	24
2.9. Rangos de Certificación Leed	25
2.10. LEED	26
2.11. Categorías Leed	27
2.12. Diagrama de un Sistema de Control	31

2.13. Diagrama de un Control PID	33
2.14. Elementos de un Controlador Lógico Programable	34
2.15. Controlador CompactLogix y módulos de E/S 1769	36
2.16. Descripción general del sistema CompactLogix	37
2.17. Controlador MicroLogix 1400	38
2.18. Controlador Micro850	39
2.19. Flujómetro Electromagnético	42
2.20. Transmisor de Nivel Ultrasónico	43
2.21. Accionamiento de la Válvula Mariposa	45
2.22. Arranque Directo	48
2.23. Variador de Frecuencia	49
2.24. Bomba Centrífuga de doble Succión	50
2.25. Chiller	51
2.26. Refrigerante Ecológico R410A	57
3.1. Niveles de Iluminación Exterior.	60
3.2. Iluminación Exterior.	61

3.3. PLCs usados para el control	117
3.4. Arquitectura del Sistema de Automatización del Edificio	118
3.5. Jerarquía de Control	119
3.6. Conexión de Transmisor de Nivel	120
3.7. Conexión de Transmisor de Flujo Ultrasónico	120
3.8. Conexión de Transmisor de Temperatura	120
3.9. Diagrama de Flujo del Proceso en General	122
3.10. Diagrama de Flujo de los modos de Control	122
3.11. Diagrama de Flujo de la Arquitectura del Sistema de Automatización	123
3.12. Programación Ladder del PLC Principal. Mensajería, Comunicación Ethernet.	133
3.13. Programación Ladder del PLC secundario. Parte 01.	134
3.14. Programación Ladder del PLC secundario. Parte 02.	135
3.15. Programación Ladder del PLC secundario. Parte 03.	136
3.16. Programación Ladder del PLC secundario. Mensajería, Comunicación Modbus RS485. Parte 04.	137
3.17. Interfaz del Sistema Scada	147
3.18. Ventana Principal del Sistema Scada	148

3.19. Ventana Arquitectura del Sistema	149
3.20. Ventana Sistema Lumínico del Sótano 1 al 7	150
3.21. Ventana Sistema Lumínicos de los Pisos 1 al 12	150
3.22. Ventana Sistema Lumínicos Exterior	151
3.23. Ventana Sistema Climatización	151
3.24. Ventana Sistema Climatización Interior	152
3.25. Ventana Históricos	152
3.26. Diagrama Esquemático de la Zona	154
3.27. Diagrama del modelo de la Zona	162
3.28. Esquema General de la Simulación del Sistema en Ecuaciones Diferenciales . .	165
3.29. Esquema de los Subsistemas	166
3.30. Representación Diagrama de Bloques de T_z	166
3.31. Respuesta de mi Sistema a Lazo abierto	167
3.32. Respuesta de las temperaturas de las Paredes y Techo	167
3.33. Diagrama General del Subsistema en Laplace	168
3.34. Diagrama de bloques del Sistema representado en Laplace	168

3.35. Función de Transferencia del Sistema a Lazo abierto	169
3.36. Respuesta del Sistema (T_z)	169
3.37. Respuesta de mi Sistema sin Considerar cargas	170
3.38. Esquemático del Sistema representado en espacios de Estado	170
3.39. Respuesta de mi Sistema frente a una $T_s = 13$	171
3.40. Respuesta de mi Sistema frente a las representaciones de espacios de estado .	171
3.41. Diagrama de Bloques del Sistema con Regulador y sin referencia	173
3.42. Respuesta del Sistema con Regulador y sin referencia	173
3.43. Respuesta del Proceso con controlador y Referencia	174
4.1. Prototipo de prueba donde se implementó el control	176
4.2. Variador de frecuencia Power Flex 40	177
4.3. Electrobomba Pentax	177
4.4. Transmisor Indicador de flujo Arkon	177
4.5. Controlador Maestro	178
4.6. Controlador esclavo	178
4.7. Transmisor de temperatura	178



4.8. Módulo convertidor Modbus rs232-rs485	179
4.9. Módulo Modbus rs485	179
4.10.Enfriador de agua	179
4.11.Sistema Scada implementado	180
4.12.Arquitectura del Sistema	180
4.13.Configuración de la dirección ip del PLC secundario 1	181
4.14.Canál 0 para la configuración del PLC como maestro	181
4.15.Modbus Register 8193	182
4.16.Modbus Register 8194	182
4.17.Modbus Register 8452	182
4.18.Modbus Register 8453	183
4.19.Modbus Register 8455	183
4.20.Tipos de datos declarados en el plc secundario 1	183
4.21.Bloque MSG	184
4.22.Configuración de marcha y paro del variador de frecuencia.	184
4.23.Lectura de la frecuencia feedback	185

4.24. Tabla de registro del transmisor de flujo	185
4.25. Lectura de Flujo	186
4.26. Lectura de Temperatura	186
4.27. Escalamiento con el bloque SCP	187
4.28. Configuración de la dirección ip del PLC Principal	187
4.29. Configuración del comando de arranque	187
4.30. Lectura del Flujo del esclavo 1	188
4.31. Variables a enlazar con RSLinx	188
4.32. P&ID de Planta Piloto	189
4.33. Bloque PID	189
4.34. Parámetros del PID	190
4.35. Respuesta de la variable controlada	190
4.36. Respuesta de la variable de control	190
4.37. Gráfica del pico de corriente en el cambio de estrella a triángulo.	193
4.38. Gráfica de la intensidad de corriente con arrancador suave.	193
4.39. Gráfica de velocidad con variador de frecuencia.	194

LISTA DE TABLAS

2.1. Comparación de corriente de arranque.	46
3.1. Diseño Lumínico Basado en Estándares de Iluminación	65
3.2. Elección de Luminarias y Lámparas	66
3.3. Medrado de Luminarias	70
3.4. Resistividad según el Tipo de Suelo	73
3.5. Espesor de Aislamiento en tuberías según Diámetro	97
3.6. Listado de Puntos a Controlar- SISTEMA BMS	112
3.7. Planos del Sistema de Automatización	113
3.8. Medrado de Automatización por Planos	114
3.9. Medrado de Entradas y Salidas de los PLC	124
4.1. Elementos usados en el prototipo a controlar	175
4.2. Horario de operación de electrobombas primarias	191
4.3. Horario de operación de electrobombas secundarias	191
4.4. Horario de operación de electrobombas de condensado	192

5.1. Precios de los equipos del Sistema Mecánico	196
5.2. Precios de los equipos del Sistema Eléctrico	197
5.3. Precios de los equipos del Sistema Sanitario	197
5.4. Precios de los equipos del Sistema de automatización	198
5.5. Precios de los equipos Varios	198
5.6. Costo SubTotal de la Inversión	199
5.7. Costo total del Proyecto	199
5.8. Vida útil y Ganancias del proyecto	200

PRÓLOGO

Esta tesis esta presentada como requisito para optar al título profesional de Ingeniero Electrónico de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, las mejoras en calidad de presentación y formato de esta Tesis fueron desarrolladas en software de distribución libre, gracias a la ayuda del editor de textos TeXnicCenter de L^AT_EX.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día con el pasar de los años la población ha ido en aumento generando cambios radicales en las ciudades. Cada año la expansión territorial lleva consigo un mayor uso de recursos y por ende el uso indebido y no calculado de energía eléctrica.¹

La energía eléctrica al ser un recurso propiamente irrenovable que es producida en masa por otros recursos trae desde épocas remotas la idea de que es un factor de nunca acabar, sin embargo que hay de aquellos recursos y gastos económicos que se emplean para su producción. Estudios recientes afirman que el uso de energía eléctrica trae consigo un factor catastrófico en el medio ambiente, ya que es uno de los tres factores que generan la contaminación en masa. Produciendo así diversos daños en la salud e impactos ambientales cuando se tiene un uso indebido de esta.

Las grandes ciudades capitalistas como New York, Tokio, Londres, Moscú, Paris, Chicago, Shanghái, Hong Kong, Rio de Janeiro en su ímpetu y afán de controlar el mercado y la producción de Edificios gigantes llamados rascacielos son las principales ciudades con mayor índice de contaminación Eléctrica. Lima siendo capital de un país en desarrollo no se queda atrás, y su construcción de grandes edificios con el pasar de los años ha ido en aumento. Es así que distritos como Los Olivos, Miraflores, Chorillos, Surco, Barranco, La Molina, San Miguel, San Luis y Lince presentan un incremento masivo en la construcción de edificios los cuales tienen como fin principal el uso comercial y administrativo.

Grandes edificios de hasta 20 pisos son construidos en zonas comerciales con el fin de acaparar los costes y las producciones del país. Sin embargo a medida que la construcción de edificios aumenta una gran oleada de residuos van en aumento produciendo un desequilibrio en el medio ambiente² y perjudicando en forma directa a población Limeña.

Pero esta no es la única consecuencia que trae consigo, si bien es cierto en la actualidad grandes edificios necesitan de la energía eléctrica para hacer del su ambiente un lugar acogedor y favorable, pero que hay del uso indebido de esta.

¹Hamza N, Greenwood D. Energy conservation regulations: impacts on design and procurement of low energy buildings. *Build Environ* 2009;44:929e36.

²Delfani, S.,Karami,M.,Pasdarshahri,H.,2010.The effects of climate change on energy consumption of cooling systems in Tehran.*Energy and Buildings* 42(10), 1952-1957

Estudios recientes afirman que el uso indebido de energía eléctrica trae consigo pérdidas irreparables en la economía del país, que incluso llegan a superar costes del 20 % de las ganancias.³

Se imagina que pasaría si reduciríamos el uso de energía. No solo el factor económico se vería beneficiado con esto, sino que evitaríamos que la contaminación siga incrementando de manera desordenada con el pasar de los años.

Como solución a este problema se pretende reducir el consumo de energía en edificios tales como centros comerciales, oficinas, estacionamientos, etc., por medio de un control adecuado de los sistemas de climatización y alumbrado instalados o a instalar.⁴

³Mahadevan, R.,Asafu-Adjaye,J.,2007.Energy consumption,economic growth and prices: a reassessment using panel VECM for developed and developing countries. Energy Policy 35,2481-2490.

⁴CSN. (2007). EN 15232: Energy performance of buildings-Impact of building automation, controls and building management.

RESUMEN

El diseño de este proyecto se implementará en el Edificio Park Office-La Molina, ubicado en la Calle Toulon, urbanización La Rivera de Monterrico II Etapa, distrito de La Molina, Provincia y Departamento de Lima, con la cual se pretende realizar un Sistema que permita el ahorro energético a través del control y monitoreo de sus sistemas Lumínico, Mecánico y de Control.

En el Sistema Lumínico se describen los parámetros y criterios de diseño de iluminación Arquitectónica del edificio, los cuales toman en cuenta los requerimientos y estándares de iluminación propios de un edificio con uso mixto tanto comercial como de oficinas. Este diseño garantiza que la instalación pueda suministrar con alta eficiencia las necesidades lumínicas diarias dentro de las instalaciones del edificio durante todo el día, además de permitir y contribuir al no uso indebido de energía eléctrica.

En el Sistema mecánico se indican los estándares y parámetros de ingeniería, considerados para la realización del proyecto del sistema de aire acondicionado y la ventilación mecánica del Edificio, así mismo establece las prácticas a seguir en la ejecución e instalación del sistema respectivo teniendo en cuenta las normas y procedimientos del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), ASHRAE, NFPA, SMACNA, ARI, UL, etc.

En el Sistema de control se establecen los requerimientos mínimos para el diseño, suministro y montaje de un sistema administración y gestión de los sistemas electromecánicos (Automatización), con el fin de ahorrar energía, el cual contará con la capacidad de control, monitoreo, generación de reportes y acceso para la automatización y administración de sistemas o equipos del Proyecto.

Además el proyecto de tesis tiene un capítulo donde se hace el estudio del modelo matemático de un ambiente climatizado, modelo que es usado para simular y validar el diseño de control desarrollado. Por otro lado se implementó un prototipo que permitió el control de una de las variables presentes en el proyecto, sin embargo el control aplicado en este es diferente al del modelo, debido a que son diferentes procesos.

ABSTRACT

The design of this project will be implemented in the building Park Office-La Molina, located on Calle Toulon, La Rivera Monterrico II Stage, district of La Molina, Province and Department of Lima, with intends to perform a system that allow energy savings through the control and monitoring of lighting systems, mechanical systems and control systems.

In the lighting system the parameters and design criteria for architectural lighting of the building are described, considering the requirements and standards own lighting of a building with mixed use both commercial and office. This design ensures that the installation can provide high efficiency with everyday lighting needs within the premises of the building throughout the day, and allow and contribute to no misuse of electrical energy.

In the mechanical system standards and engineering parameters are listed, that are considered for the project of air conditioning and ventilation of the building, also establishes the practices to be followed in the implementation and installation of the respective system taking into account the rules and procedures of the National Building Regulations (RNE), ASHRAE, NFPA, SMACNA, ARI, UL, etc.

In the control system the minimum requirements for the design, supply and installation of an administration and management system in the electromechanical systems (automation) are established, in order to save energy. This system will have the ability to control, monitor, generate reports and access applied to automation, systems management or project teams.

In addition the thesis project has a chapter where the mathematical model of an air-conditioned environment is studied, this model is used to simulate and validate design control developed. On the other hand a prototype that allowed the control of one of the variables in the project was implemented, however the control applied in this model is different because they are different processes.



CAPÍTULO 1

MEMORIA

1.1. Situación Problemática

Con el pasar de los años la construcción de edificios en los distritos de Lima ha ido en aumento, generando un desorden en el uso de energía. Grandes Edificios construidos para fines comerciales o de oficinas requieren de la energía eléctrica para mantener su ambiente seguro y favorable. Pero a medida que la construcción de edificios se hace más notoria, aparece el uso indiscriminado de energía eléctrica. Es así que conforme se realice su incremento aquellos grandes edificios usan más de la energía para calefacción, alumbrado, aire acondicionado, supervisión con el fin de mantener sus ambientes seguros y favorables y estar a la vanguardia de la competencia. Sin embargo estudios recientes afirman que la gran mayoría de los edificios en Lima usan un ineficiente control de energía en sus instalaciones, trayendo consigo un mayor y desordenado consumo provocando no solo gastos económicos sino también perjuicios en la salud.

Debido a esta problemática hace algunos años se planteó la idea de automatizar¹ dichos sistemas para así lograr beneficios notorios que albergan ganancias que superan el 20 %. Dicho sistema se basa en una certificación desarrollada en el año 1998 por el Consejo de la Construcción Verde de Estados Unidos (US Green Building Council) llamada LEED², compuesta por un conjunto de normas sobre la utilización de estrategias encaminadas a la sostenibilidad de edificios de todo tipo, basándose en aspectos relacionados con la **Energía Eléctrica**, el uso de Energía alternativas, **la mejora de la calidad ambiental Interior**, **la eficiencia del consumo de agua**, el desarrollo sostenibles de los espacios libres y la selección de materiales, teniendo como objetivo avanzar en la utilización de estrategias que permitan una mejora global en el impacto medio ambiental de la industria de la construcción.

¹Motorizar un Proceso

²Leadership in Energy & Environmental Design



Los estudios se realizaron en el CENTRO EMPRESARIAL LA MOLINA S.A.C., ubicado en la Calle Toulon (Ex Calle 12), manzana I6, sub lote 1-A1, urbanización La Rivera de Monterrico II Etapa, distrito de La Molina, Provincia y Departamento de Lima. El edificio contempla 8 sótanos (el octavo sótano utilizado sólo para uso de cisternas y cuartos de bombas, los restantes son usados para estacionamiento vehicular, ocupaciones de servicio y depósito), 12 niveles (El sótano 1 y el primer piso es un Centro comercial y los restantes son usados para alquiler de oficinas) y una azotea (donde se ubica la planta de agua helada, sub estación eléctrica, ventiladores de presurización de escaleras y extractores e inyectores de aire).

Actualmente este edificio no cuenta con un sistema de automatización en sus sistemas electromecánicos, por ende no se puede controlar ni monitorear los sistemas presentes como el uso de los recursos, la energía eléctrica y el agua. A esto hay que sumarle los altos costes por el excesivo consumo de energía y el inapropiado ambiente de sus instalaciones.

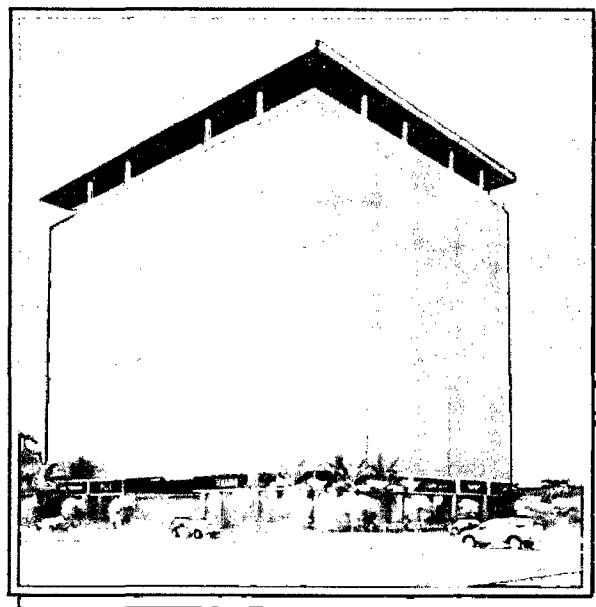


Figura 1.1: Edificio Park Office la Molina.

En el edificio Park Office la Molina y en la mayoría de edificios en Lima nos encontramos con deficientes sistema de automatización o BMS³ con respecto a los sistemas electromecánicos (alumbrado y climatización). Cabe señalar que si automatizamos estos sistemas lograremos un eficiente control de energía eléctrica y agua.

³Building Mangment System



Figura 1.2: Interior del Edificio Park Office la Molina.

Podemos decir a toda esta situación problemática, que tener un eficiente control en los sistemas electromecánicos (alumbrado y climatización) puede evitar pérdidas económicas innecesarias así como diversos daños en la salud e impactos ambientales.

1.1.1. Antecedentes

Se ha encontrado trabajos realizados por estudiantes de otras universidades y por técnicos electrónicos y eléctricos, los cuales han realizado instalaciones empíricas en los sistemas electromecánicos (alumbrado y climatización), sin embargo dichas instalaciones no se basan en estándares los cuales permite el uso eficiente de energía. Lo mismo sucede con el consumo de agua, ya que no existe un sistema capaz de monitorear su uso racional. Se han previsto trabajos como instalaciones de equipos y accesorios capaces de ahorrar energía en la parte de las luminarias y calefacción, sin embargo a pesar de haber reducido el consumo de energía no han podido establecer cuál es la solución más apropiada, ya que al no existir un adecuado control general de estos sistemas electromecánicos en las instalaciones de los edificios pueden causar gastos incensarios y perjuicios en la salud (Con lo que respecta al Edificio Park Office La Molina no se ha encontrado ningún indicio de mejoras en su deficiente sistema electromecánico).

1.1.2. Problema

¿De qué manera podemos realizar el control en los sistemas de climatización y alumbrado en el interior de los edificios para el ahorro de energía en el edificio PARKOFFICE-La Molina?

1.1.3. Hipótesis

Para reducir el consumo de energías provenientes del sistema de alumbrado y climatización del edificio PARK OFFICE-La Molina, se propone el diseño de un sistema el cual controle el alumbrado así como también la climatización del edificio.

1.1.4. Objetivos del Trabajo de Tesis

Los objetivos logrados se enmarcan dentro de un objetivo principal y varios secundarios, los cuales se detallan a continuación.

1.1.4.1. Objetivo Principal

Se propone un sistema automatizado el cual controlará las variables presentes en los sistemas de climatización y alumbrado (flujo, temperatura, presión, nivel, volumen del CO₂ y CO entre otras) en el edificio PARK OFFICE-La Molina ubicado en la ciudad de Lima para así reducir el uso indebido de energía y por ende evitará gastos económicos innecesarios.

1.1.4.2. Objetivos Secundarios

Los objetivos secundarios planteados son:

1. Automatizar el alumbrado dentro de las instalaciones del edificio, así como controlar de manera ordenada su uso y evitar ausencia de esta.
2. Monitorear el consumo de climatización del edificio, así como evitar futuras fallas en esta y no perjudicar el medio ambiente ni la salud de las personas.

3. Realizar un prototipo que conlleve al control de una de las variables presentes en el proyecto.
4. Seleccionar equipos de control y de instrumentación, que cumplan los requisitos del diseño.

1.2. Motivación del Proyecto

La elección de la presente investigación es como consecuencia de mi interés personal a dar solución al mal manejo de la energía eléctrica en los edificios de Lima, con mi proyecto de investigación se logrará además de racionalizar su uso, minimizar pérdidas económicas, optimizar los sistemas de alumbrado y climatización, mejorando así la comodidad dentro y fuera de sus instalaciones.

Como investigador, este proyecto me conlleva a involucrarme en un problema real de la sociedad y ayudar a su solución, aplicando así mis conocimientos científicos y tecnológicos de Ingeniería de Control, lo cual me ha permitido desarrollarme tanto profesional como personalmente.

1.2.1. Justificación e Importancia de la Investigación

Al desarrollar un sistema eficiente que controle los sistemas de climatización y alumbrado dentro de las instalaciones del edificio evitaremos gastos innecesarios y ayudaremos a mantener un área confortable y un medio ambiente libre de contaminantes.

Es así que en 1998 el Consejo de la construcción Verde de Estados Unidos (US Green Building Council) desarrolló un sistema de certificación de edificios sostenibles llamada LEED la cual compone un conjunto de normas sobre la estrategias encaminadas a la sostenibilidad en edificios de todo tipo, basándose en la incorporación en el proyecto de aspectos relacionados con **eficiencia energética**, el uso de energías alternativas, la mejora de la calidad del ambiente interior, la eficiencia del consumo de agua, entre otros.

Teniendo la certificación como objetivo avanzar en utilización de estrategias que permitan una mejora global en el impacto medioambiental de la industria de la construcción.



Es así que basándose en esta certificación y en los conocimientos adquiridos independientemente de la Universidad se tiene pensado desarrollar un sistema automatizado el cual controle las variables antes previstas logrando así resultados favorables que conlleven a reducir gastos económicos y lo mas importantes reduciendo el impacto medioambiental y proteger el medio ambiente. Se estima que un control en los sistemas de Climatización y alumbrado dentro de las instalaciones del edificio traerá ganancias económicas que albergan el 20 % del coste obtenido anualmente.

1.2.2. Alcances del Estudio

El presente proyecto comprende el diseño de un sistema de control: control de Luminarias dentro y fuera de las instalaciones del edificio, control en el sistema de climatización (control de velocidad para los chiller y/o electrobombas, control en tiempo real de las variables presentes en el proceso). La metodología de evaluación desarrollada en el Edificio Park Office La Molina en Lima, puede extenderse a otros lugares de la zona u departamentos vecinos. La tesis está dirigida hacia la búsqueda de nuevas alternativas de mejoras de automatización para la reducción del consumo de energía eléctrica, logrando así evitar gastos innecesarios y una mayor calidad de vida para la población.

En la redacción de la presente memoria se recogen de manera concisa los aspectos esenciales del proyecto. Los aspectos que se tratan con mayor profundidad se incluyen en los siguientes capítulos.

La investigación consta de los siguientes documentos:

- Memoria y detalles de la memoria
- Planos y Presupuesto

1.2.3. Población y muestras Estadísticas del Estudio

A la fecha son muchos los edificios construidos en los últimos años en la ciudad de Lima, su construcción masiva se debe al interés de acaparar los costes del mercado en el aspecto administrativo y comercial. Es así que distritos como Los Olivos, Miraflores, Chorillos, Surco, Barranco, La molina, San Miguel, San Luis y Lince son los que presentan un mayor índice de aumento de estos, generando así un mayor uso de comercio y administración, sin tener en cuenta un control de la Energía requerida diariamente para un buen desempeño laboral.



1.2.4. Análisis estadístico de los datos

Los datos recolectados nos sirvieron para realizar un buen desempeño en la selección de equipos, para así hacer un buen sistema de control. Del mismo modo se calculará y evaluará el consumo energético para tener un enfoque de las ganancias económicas anuales que se tendrán después de haber implementado y culminado el proyecto. Haciendo así una demostración de que es posible ahorrar energía en base a la Informática.

1.3. Solución del Sistema de Control

1.3.1. Elección del Sistema de Control

Dado el tipo de explotación que se está proyectando, se ha optado por implantar un sistema controlado de consumo de energía eléctrica y adaptarlo al tipo de control que implantaremos en el edificio, por lo tanto los dos en conjunto ofrecerán multitud de ventajas frente a otros sistemas de ahorro de Energía.

1.3.2. Justificación de la Solución Adoptada

Las grandes ventajas comparadas con las desventajas que ofrece este sistema y que justifican su implantación se describen a continuación:

a) Ventajas

- Eficiencia del 95 % del sistema propuesto.
- Ahorro de energía eléctrica que va desde 30 % hasta un 65 % de su consumo real.
- Control del nivel de agua en los pozos tubulares para el aire acondicionado
- Control exacto del consumo de Energía Eléctrica
- Monitoreo del grupo electrógeno
- Medición del consumo de agua helada en las oficinas
- Monitoreo de las bombas primarias y secundarias de agua Helada
- Monitoreo de flujo y presión de Agua
- Control de Tableros de Iluminación
- Monitoreo de Tableros eléctricos Generales y subestación



b) Desventajas

- Elevado costo inicial de inversión del proyecto
- Mantenimiento permanente sólo por personal altamente calificado

1.4. Diseño del Sistema de Ahorro de Energía**1.4.1. Diseño de Iluminación**

Es la parte del proyecto, donde se determinan elementos claves como son los Parámetros y Criterios de Diseño de Iluminación Arquitectónica contemplados para el presente Proyecto, los cuales toman en cuenta tanto el Proyecto así como también los requerimientos y estándares de Iluminación propios de un Edificio con Uso Mixto tanto comercial como de Oficinas.

El Diseño garantiza que la instalación pueda suministrar con una alta eficiencia, las necesidades lumínicas diarias dentro de las instalaciones del Edificio durante todo el día, además permitir y contribuir al no uso indebido de energía eléctrica. Con los resultados del Diseño de Iluminación se basarán los posteriores cálculos de consumo de energía, el tipo de subestaciones a realizarse y poso de tierra requerido, así como el tipo de control a usarse.

1.4.1.1. Necesidades lumínicas (Lámparas y Luminarias)

De acuerdo al estudio fotométrico se han calculado todos los parámetros que han conducido a la obtención de los niveles de iluminación (luxes) en el edificio, para así obtener el tipo de lámparas o luminarias a instalarse de acuerdo a la potencia, ubicación y cantidades requeridas para simular un ambiente apto de acuerdo a los modelos estándares de la sensibilidad a la luz del ojo humano.



1.4.1.2. Determinación del tipo de luminarias o lámparas a usarse

En las áreas exteriores se prevé un nivel de iluminación que oscila en el rango de 50 a 250 luxes, así como un control automático que apague la iluminación artificial cuando haya suficiente luz natural disponible o cuando no se necesite la iluminación exterior durante la noche.

En las áreas interiores se prevé seis diferentes espacios como son:

- Hall de Ingreso Oficinas
- Circulaciones, Áreas comunes pisos Oficinas
- Salas Sum para uso de Oficinas
- Áreas administrativas y cafeterías
- Sótanos
- Áreas técnicas

1.4.2. Diseño Mecánico

Es la parte del proyecto donde se indican los estándares y parámetros de Ingeniería, considerados para la realización del proyecto del sistema de aire acondicionado y la ventilación mecánica del Edificio de Oficinas del Centro Empresarial La Molina, así mismo establece las prácticas a seguir en la ejecución e instalación del sistema respectivo. Para el desarrollo del presente Proyecto se ha tenido en cuenta las normas y procedimientos del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), ASHRAE, NFPA, SMACNA, ARI, UL, etc. experiencia local, reuniones de coordinación con especialistas, así como los Planos de Arquitectura.

El proyecto además, considera el cumplimiento de los requerimientos básicos indicados en el Manual de Diseño Leed especialmente en los *Sub capítulos*:

- EQ Indoor Environmental Quality
- EA Energy and Atmosphere



1.4.3. Diseño de Control

Es la parte del proyecto que se refiere al Sistema de administración y gestión de los sistemas electromecánicos (AUTOMATIZACION) para el CENTRO EMPRESARIAL LA MOLINA S.A.C., a construirse ubicado en la Calle Toulon (Ex Calle 12), manzana I6, sub lote 1-A1, urbanización La Rivera de Monterrico II Etapa, distrito de La Molina, Provincia y Departamento de Lima. En este subcapítulo se establecerá los requerimientos mínimos para el diseño, suministro y montaje de un sistema administración y gestión de los sistemas electromecánicos, CON EL FIN DE AHORRAR ENERGIA, el cual contará con la capacidad de control, monitoreo, generación de reportes, manejo de las identidades y acceso para la automatización y administración de sistemas o equipos para el Proyecto. El proyecto ha sido desarrollado de acuerdo a los planos de Arquitectura elaborados para este edificio y aprobados por la Municipalidad de la Molina.

El sistema de Automatización o BMS a instalar en el Centro Empresarial La Molina está orientado a controlar y monitorear los sistemas electro-mecánicos presentes en el edificio, con el fin de lograr una eficiencia tanto en el manejo de los sistemas presentes como en el uso de los recursos, la energía eléctrica y el agua. El edificio estará controlado por un centro de comando y está orientado al controlar los sistemas del centro comercial y oficina y estará ubicado en el sótano 1 en la oficina de Administración. Para lograr este fin el sistema de BMS tendrá un software de interacción gráfica entre los sistemas que controla y/o monitorea y el operador en el cual se podrá observar y controlar en tiempo real las variables o parámetros de cada sistema, el sistema también será capaz de registrar y enviar alarmas a correos electrónicos ante una situación de falla o alarma de uno de los sistemas controlados.

Así mismo el software permitirá establecer metas para el consumo de energía eléctrica y generar reportes de consumos acumulados con el fin de observar el consumo de energía en el tiempo y permitir al operador tomar medidas en caso el consumo se acerque a las metas establecidas.

a) Sistema Mecánicos:

- Medición y Extracción de CO en sótanos.
- Inyección de aire en sótanos.

- Unidades Manejadoras de Aire en áreas comunes.
 - Planta de agua helada.
 - Ventiladores de presurización de escaleras.
 - Extractores e Inyectores de aire para los servicios higiénicos.
 - Consumo de agua helada de las oficinas y locales comerciales.
 - Nivel de CO₂ en Salas de uso Interno.
- b) Sistema Eléctrico e Iluminación:
- Control de circuitos de iluminación.
 - Grupos electrógenos.
 - Medición de energía en tableros eléctricos.
 - Subestación.
 - Tableros eléctricos generales y de Iluminación.
 - Medición de consumo de energía eléctrica en locales comerciales.
- c) Sistema sanitario:
- Planta de agua fría.
 - Planta de aguas negras
 - Cisternas.
 - Consumo de energía eléctrica de bombas de planta sanitaria.
 - Consumo de agua.
- d) Otros Sistemas:
- Sistemas de Control de Accesos.
 - Sistema de CCTV.
 - Sistema de Alarmas y Detección de incendios.

Además el sistema de BMS deberá contemplar y prever que el edificio seguirá un proceso de certificación LEED y por tanto ha sido diseñado desde sus inicios apuntando a calificar para esta certificación en los aspectos de ahorro energético así como el control de sus sistemas electromecánicos. Por tanto el sistema tendrá la capacidad de integrar a futuro los medidores de energía eléctrica de las oficinas.

1.5. Estudio Económico

1.5.1. Presupuesto General de la Investigación

A continuación se muestran los costos de los equipos y los costos de instalación del sistema propuesto.

EQUIPOS Y ACCESORIOS DEL SISTEMA MECÁNICO	\$ 161,627.00
EQUIPOS Y ACCESORIOS DEL SISTEMA ELÉCTRICO	\$ 22,406.00
EQUIPOS Y ACCESORIOS DEL SISTEMA SANITARIO	\$ 9,187.00
AUTOMATIZACIÓN	\$ 55,905.00
VARIOS	\$ 41,000.00
SubTotal	\$ 290,125.00
IGV al 18 %	\$ 52,222.50
TOTAL	\$ 342,347.50

Asciende el presupuesto de ejecución del presente proyecto a la expresada cantidad de TRESCIENTOS CUARENTA Y DOS MIL TRESCIENTOS CUARENTA Y SIETE DÓLARES AMERICANOS CON CINCUENTA CENTAVOS.

1.6. Alcances del Impacto Ambiental

El estudio de impacto ambiental como parte de la evaluación económica de un proyecto no ha sido lo suficientemente tratado, aunque se observan avances sustanciales en los últimos tiempos. Una tipología de estudios de impacto ambiental permite identificar dos tipos. Identificaremos, analizaremos y clasificaremos los impactos positivos y negativos que podrían ocasionar al medio ambiente por la implementación del proyecto.

1.6.1. Impactos positivos al medio ambiente

- Ahorro de energías para el uso del Sistema de alumbrado Público, interiores, y calefacción, al instalar un control de monitoreo en las instalaciones del edificio, trae como consecuencia el ahorro de energía eléctrica en las Luminarias y lámparas, así como en el sistema de climatización.
- Disminuye radicalmente la contaminación Lumínica, ya que permite el apagado de luminarias innecesarias si existe mucha luz natural o no se requiere de ellas.

- Cero por ciento de contaminación del aire y muertes de asfixia en caso de un incendio, debido a que el 90 por ciento de las conexiones eléctricas internas y externas en el edificio están hechas de cable LSZH (Low Smoke Zero Halogen).
- Uso racional del agua, el agua por ser de vital importancia en nuestras vidas y hoy en día con la gran demanda que presenta para su uso, es que uno de los fines más importantes del Sistema de Control es racionalizar el uso del agua en los Sistemas de Climatización, con esto se garantiza un impacto positivo al Medio Ambiente en la zona del distrito de la Molina en Lima.

1.6.2. Impactos negativos al medio ambiente

Debido a los diferentes equipos que contará el sistema de control automatizado de Ahorro de Energía, no encontramos repercusión alguna de estos al medio ambiente.

Con la investigación de este proyecto, llegamos a la conclusión que los conceptos del impacto ambiental son aprobados y favorables a la comunidad, debido a que se racionalizará en gran cantidad el uso de energía eléctrica y del agua dentro de las instalaciones del Edificio, logrando así un ambiente seguro y cómodo para los inquilinos del Edificio.

1.7. Consideraciones Finales

Del estudio técnico y económico realizado a lo largo de este trabajo, se deduce que el Proyecto de Investigación de fin de Carrera "DISEÑO DE UN SISTEMA PARA EL AHORRO DE ENERGÍA EN EL EDIFICIO PARK OFFICE LA MOLINA" es viable, lo cual induce a pronunciarse sobre la conveniencia de llevar a buen fin esta investigación.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. Ahorro Energético

El gasto energético a nivel nacional y mundial es una preocupación para los Gobiernos. Cada año crece la demanda de energía y las compañías eléctricas no tienen capacidad para crecer a la misma velocidad que la demanda solicitada. El déficit tarifario ¹ cada vez mayor y para solucionar el problema, todos los Gobiernos han apostado por hacer un frente común poniendo unos objetivos globales que permitan reducir el gasto global.

En las instalaciones de edificios y de alumbrado público es posible realizar una racionalización de la energía sobre los elementos que más consumo tienen, con el objetivo de conseguir un ahorro energético que les permita reducir los costes recurrentes de explotación. Para poder reducir el consumo, los edificios e instalaciones deben dotarse de equipos electrónicos que automaticen funciones y que les permita ajustar los niveles de climatización e iluminación a unos valores que variarán en función de las condiciones de entorno, tales como temperatura exterior e interior y nivel de luminosidad exterior e interior en edificios. En alumbrado público el objetivo es racionalizar el nivel de luminosidad de las instalaciones para ajustarla al valor necesario en cada momento de la noche.

El Proyecto está enfocado en disponer de sistemas de control que permiten reducir el gasto energético en los servicios de la climatización de zonas e iluminación interior en edificios, así como el alumbrado público en instalaciones exteriores.

Todos los equipos utilizados en el proyecto están pensados para proporcionar un ROI ² o amortización de los equipos en base a una reducción de costes de energía, que pueden ir desde los 2 años hasta los 6 en los casos más desfavorables.

¹Falta o escases de dinero

²Retorno de la inversión

2.1.1. Climatización e Iluminación Interior

La climatización es el primer servicio en cuanto a consumo global de energía en un edificio, según datos del IDAE ³ del año 2013, con un total del 60 % del gasto energético, mientras que la iluminación ocupa el segundo lugar con un 28 %.

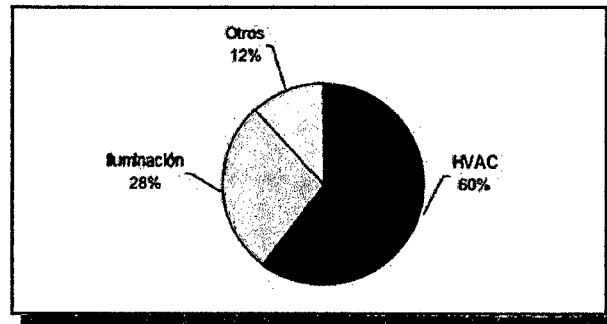


Figura 2.1: Reparto de Consumo Eléctrico en un Edificio.

2.1.1.1. Climatización

Para poder tener una climatización eficiente de los edificios se debe controlar y actuar sobre la temperatura de cada zona de forma independiente. Un edificio energéticamente eficiente catalogado como Clase A según la norma europea UNE-EN15232 (Eficiencia Energética en los edificios) debe tener instalados controladores de climatización ⁴ que gestionen cada zona y que dispongan de un bus de comunicaciones que les permita realizar un control remoto de la instalación. Un control de un edificio por zonas reduce el gasto energético entre un 20 y un 30 %.

Este control permitirá poder optimizar al máximo el gasto energético de la instalación y comparar en fases sucesivas los cambios realizados para determinar si efectivamente reducen el gasto energético. Igualmente, el control remoto permite poder modificar temperaturas de consigna máximas y mínimas sobre cada zona de manera que el técnico de mantenimiento de la instalación puede ajustar a su voluntad los diferentes parámetros de cada zona para que tengan un consumo óptimo. El proyecto contempla una familia de productos y equipos que permiten realizar el control y la regulación de la temperatura, así como controlar el sistema de climatización de la zona.

³Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

⁴Termostatos inteligentes

2.1.1.2. Iluminación Interior

La automatización de la iluminación interior de un edificio puede ayudar a reducir hasta en un 60 % el gasto energético de esta partida en la instalación. La aportación de luz natural en el interior del edificio varía en cada momento del día y hace que haya excesos de luz y por tanto un consumo de energía superior al deseado. El nivel de luminosidad en el interior de un edificio depende principalmente de la cantidad de luminarias en la instalación y de la aportación natural de luz hacia el interior del mismo. La arquitectura del edificio, su entorno, ubicación, etc. determina qué cantidad de luz natural incide en su interior. Este nivel varía en función de la hora del día y las condiciones climatológicas.

Un sistema automatizado para regulación de la iluminación se encarga de adaptar el nivel de luminosidad en el interior del edificio a un nivel predeterminado previamente. El mecanismo consiste en medir con unas sondas de luminosidad el nivel de luz en diferentes zonas del edificio y actuar sobre las luminarias regulando su luminosidad hasta conseguir que en cada zona haya el nivel determinado previamente. Con este sistema se consigue que en cada zona de la instalación haya el nivel de luminosidad correcto en cada momento y se consuma la energía justa, sin gastar más de lo necesario.

Otros mecanismos para reducir la energía a través de la automatización de la iluminación consisten en detectar la presencia de personas para activar la iluminación de las zonas de poco uso (almacenes, lavabos, etc.) y mantener las luces apagadas cuando no haya presencia de personas.

2.1.1.3. Alumbrado Público

El alumbrado público es un sector en el que se pueden conseguir ahorros energéticos que permiten amortizar ⁵ la instalación de los equipos en poco más de 2 años. En este tipo de instalaciones es posible racionalizar el nivel de luminosidad de las farolas realizando un control punto a punto según la hora de la noche, y reducir el nivel de luz o apagar cada farola de forma independiente al resto según convenga. En instalaciones como parques y jardines es posible reducir el nivel de luminosidad del parque según la hora de la noche, sin necesidad de apagar toda la instalación.

⁵Recuperar o compensar los fondos invertidos en una empresa

2.1.1.4. Sistema BMS

Finalmente, un sistema de gestión de edificio BMS⁶, debe contemplar la activación y el paro remoto de la iluminación a través de temporización horarios. Este mecanismo hace que las luminarias estén encendidas en los períodos horarios prefijados por el técnico de mantenimiento de la instalación, y evita que las luminarias queden encendidas cuando el edificio está desocupado.

En este proyecto se disponen de una familia de productos para la automatización, control y regulación de la iluminación en el interior de edificios que permite ajustar el nivel de luz de las instalaciones al valor óptimo en cada momento.

2.2. Aire Acondicionado



2.2.1. Fundamentos Básicos

Un sistema de aire acondicionado debe proporcionar en un ambiente, condiciones adecuadas de temperatura, humedad, movimiento del aire, calidad del aire, ventilación y nivel acústico. Todo esto lleva a la consecución por parte de los ocupantes de dicho ambiente de la sensación de confort⁷. Cualquier sistema de aire acondicionado consta básicamente de los siguientes componentes (existiendo diferentes tipos de cada componente y combinaciones muy variadas de dos o más de ellos):

- a) Equipo de refrigeración: compresor, condensador, válvula de expansión y evaporador; elementos pertenecientes al ciclo estándar de refrigeración por “compresión de vapor”, usado ampliamente con el fin de producir el enfriamiento necesario para el acondicionamiento del aire.
- b) Equipo de disipación de calor a la atmósfera.
- c) Equipo de manejo de aire.
- d) Equipo de suministro y distribución del aire (ductos, difusores, rejillas, etc.).

⁶Building Mangment System

⁷Comodidad, Bienestar

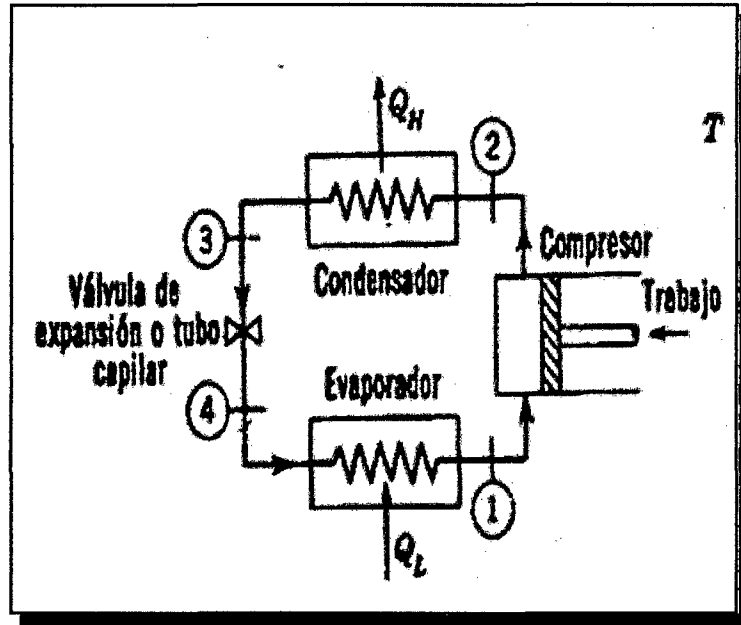


Figura 2.2: Componentes del Aire Acondicionado

2.2.2. Clasificación de los Sistemas de Aire Acondicionado

Los sistemas de aire acondicionado más comunes serán clasificados en dos grandes grupos: sistema de expansión directa y sistemas centrales.

2.2.2.1. Sistemas de Expansión Directa

Se caracterizan por reunir todos los componentes en una sola carcasa (equipos de refrigeración, tomas de aire exterior y de aire de retorno, filtro, ventilador y rejilla para el suministro de aire) el cual únicamente es necesario proveer de conexión eléctrica y acceso al exterior.

1. Unidades de ventana:

Son equipos modulares, generalmente de capacidades pequeñas, dentro de un mismo módulo se encuentran el compresor, el evaporador, condensador y la válvula de expansión. Se utilizan para enfriar áreas pequeñas, poseen una parte inferior en el interior del ambiente y otra en el exterior. No tienen ductos de suministro de aire, se utilizan para enfriar áreas pequeñas. La capacidad de estos equipos oscila entre 9000 y 42000 BTU/h.

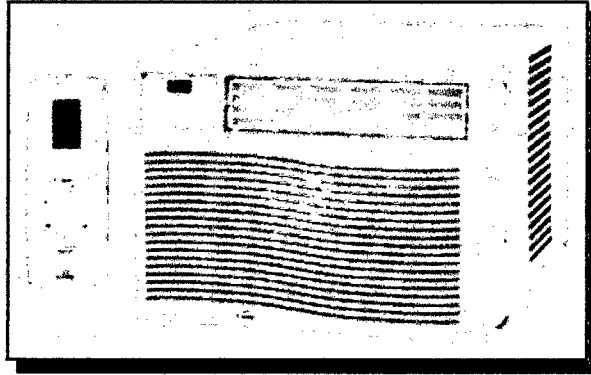


Figura 2.3: Aire Acondicionado de Ventana

2. Sistemas en partición (Split):

Estos sistemas de expansión directa, los elementos del equipo de refrigeración se encuentran formando parte, generalmente, de dos equipos. Así, las combinaciones más frecuentes son:

- (a) Condensador (enfriado por aire): constituye una unidad y el evaporador (Serpentín) juntos constituye la otra unidad.
- (b) Condensador y compresor formando una sola unidad (unidad de condensación), el evaporador (serpentín) constituyendo la otra unidad.

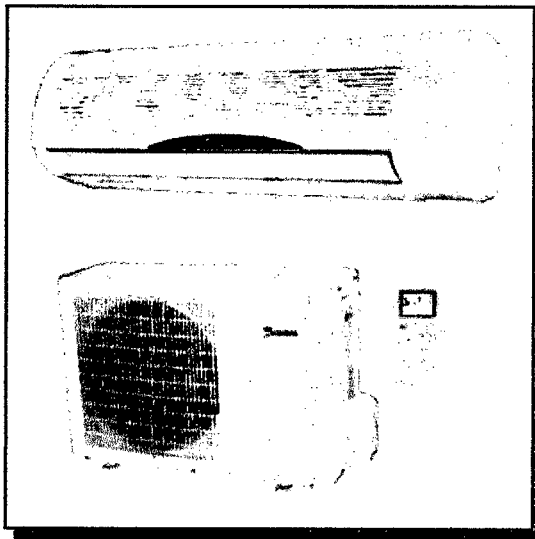


Figura 2.4: Unidad Split

3. Unidades de techo (Roff Top):

Son unidades de gran tamaño donde el conjunto de equipos se encuentra dentro de una sola unidad: varios compresores semiherméticos, reciprocantes, evaporador, condensador y válvulas de expansión. Son equipos que manejan capacidades entre 45 y 135 toneladas de refrigeración.

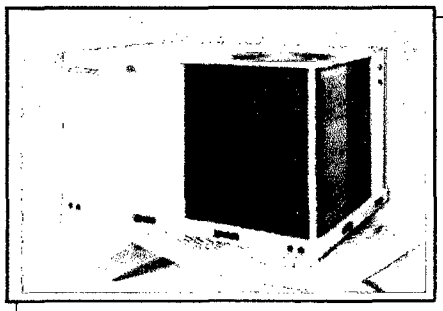


Figura 2.5: Unidad Compacta (Rofftop)

4. Volumen de refrigerante variable:

Son equipos donde se tienen unidades exteriores e interiores. La unidad exterior está en capacidad de alimentar hasta ocho unidades interiores. Una de las ventajas que ofrece la unidad exterior es que tiene un compresor variador de frecuencia, es decir, que dependiendo de la carga en la unidad interior y el número de ellas en operación, el compresor va a girar a determinadas revoluciones, además la unidad exterior posee un recipiente para escoger el refrigerante líquido, y gaseoso.

2.2.2.2. Sistemas Centrales (Agua Helada)

Estos sistemas se caracterizan por tener equipos de refrigeración centralizados y comunes en todos los ambientes, siendo el agua (se conoce como helada por su baja temperatura) el medio utilizado para el enfriamiento y deshumidificación del aire. El agua es procesada centralmente por un equipo conocido como enfriador o CHILLER. Para cumplir su objetivo utiliza un sistema de tuberías y bombas, a través de los serpentines (evaporadores) de la UMA'S⁸, las cuales están ubicadas ya sea en el interior o fuera del ambiente o conjunto de locales. Este tipo sistema es utilizado generalmente cuando se requieren grandes capacidades de refrigeración.

⁸Unidades Manejadoras de Aire

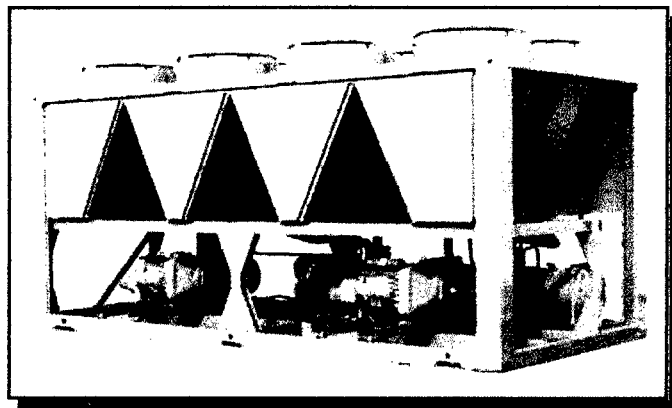


Figura 2.6: Chiller

1. Unidades enfriadoras

Como su nombre lo indica son las encargadas de enfriar el agua que se suministra al sistema. Se clasifican:

- Reciprocantes o Alternativas:

El componente principal de estas máquinas es el compresor alternativo, que es un dispositivo de desplazamiento positivo. Los sistemas equipados con este tipo de enfriadores, generalmente poseen dos o cuatro unidades alimentando las líneas de tubería de suministro a las UMAs y FanCoils. Cada unidad posee más de un compresor, los cuales son accionados por etapas.

- Centrifugas:

Estos equipos se construyen para funcionamiento continuo de servicio pesado y se les considera como funcionamiento seguro de todos los equipos de aplicaciones comerciales e industriales. Comprende esencialmente un compresor centrífugo, un evaporador y un condensador.

- Por Absorción:

Constituye una unidad para el enfriamiento del agua que utiliza directamente el calor sin emplear propulsión o máquina motriz, utilizando, pues, los medios de calefacción todo el tiempo y durante todo el año.

Utiliza los refrigerantes más baratos, seguros y más fácilmente asequibles, ordinariamente agua de la cañería. Estas unidades utilizan agua refrigerante y una solución de alguna sal tal como bromuro de litio, como absorbente. Sus componentes principales son los siguientes:

2. Condensadores

Son los equipos de disipación de calor. El calor absorbido en el evaporador y el calor equivalente al trabajo necesario para elevar la presión del refrigerante son eliminados en el condensador del sistema de refrigeración. Los condensadores pueden disipar directamente el calor del aire ó bien pueden utilizar un fluido, generalmente agua, para eliminar el calor del sistema. Aunque el agua puede ser posteriormente aprovechada, sin embargo comúnmente es conservada por un proceso de enfriamiento en una torre de enfriamiento ó en un condensador evaporativo.

- Condensador mediante refrigeración por aire. En este el calor es disipado directamente por transferencia de calor sensible.
- Condensador evaporativo. Las funciones del condensador y de la torre de enfriamiento son combinadas en el condensador evaporativo. El refrigerante se condensa dentro de los tubos del serpentín sobre las cuales se rocía agua (utilizando una bomba de circulación del propio equipo), siendo el calor del refrigerante absorbido por el aire que circula a través de la lluvia de agua y de los tubos del condensador. En un condensador evaporativo las cantidades de agua de reposición son esencialmente las mismas que para una torre de enfriamiento.
- Condensador mediante refrigeración por agua: en el que el calor sensible es transferido al agua.

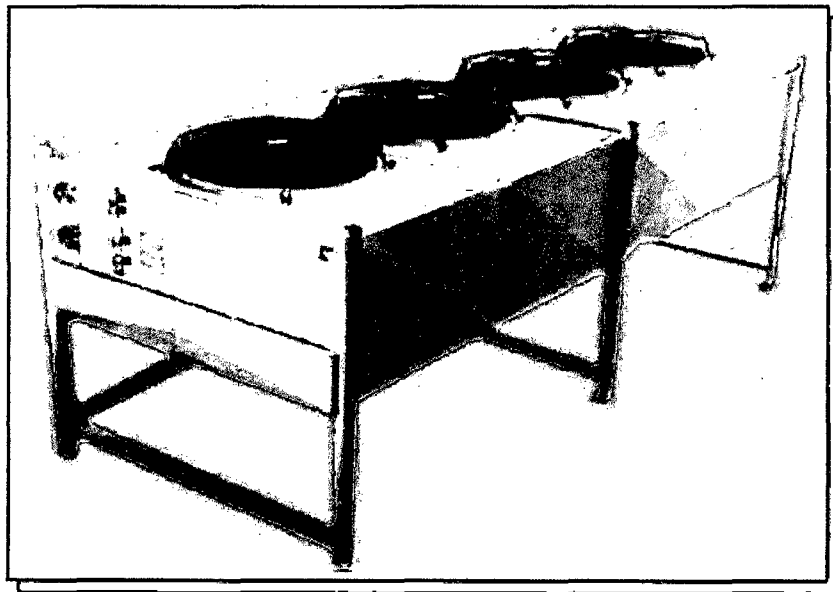


Figura 2.7: Unidades Condensadoras

3. Torres de Enfriamiento

En las torres de enfriamiento el agua se enfría por contacto con el aire y por evaporación de una parte del agua. De la forma siguiente las torres de enfriamiento se pueden clasificar:

- De acuerdo a sus componentes mecánicos:
 - Tiro natural: muy poco utilizadas en sistemas de aire acondicionado debido a la altura para obtener el efecto de chimenea necesaria para el tiro.
 - Tiro mecánico: comprendiendo las torres de tiro forzado (ventiladores manejan aire seco) y las torres de tiro inducido (los ventiladores mueven aire caliente húmedo).
- De acuerdo a la transferencia de calor:
 - Flujo paralelo: el aire se mueve en la dirección opuesta al agua.
 - Flujo cruzado: el aire se mueve perpendicular a la dirección del agua
 - Contraflujo: el aire se mueve en la dirección opuesta al agua.
- De acuerdo a la superficie del agua:
 - Mediante rociado del agua: la superficie es producida por atomización del agua a través de las tuberías.
 - Mediante bandejas: el agua se le hace salpicar al caer en la torre de una bandeja a otra.

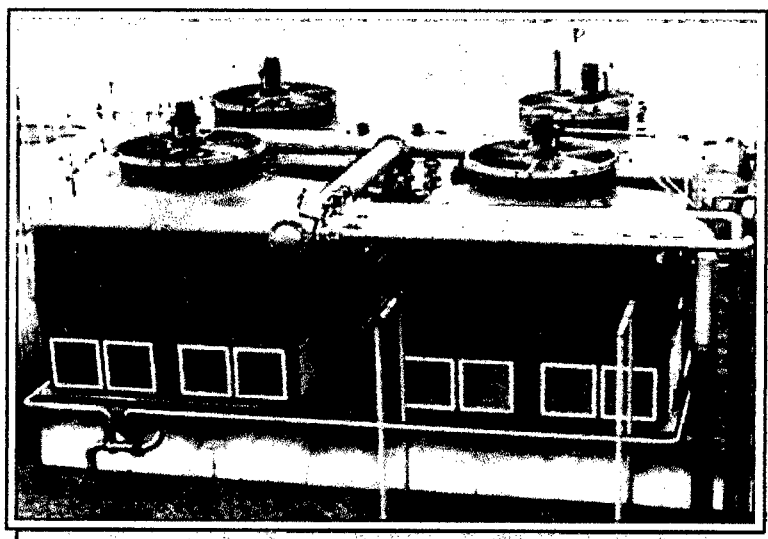


Figura 2.8: Torres de enfriamiento

2.3. Certificación leed

LEED: ⁹ es un sistema de certificación de edificios sostenibles, desarrollado por el Consejo de la Construcción Verde de Estados Unidos.

Se compone de un conjunto de normas sobre la utilización de estrategias encaminadas a la sostenibilidad en edificios de todo tipo. Se basa en la incorporación en el proyecto de aspectos relacionados con la *eficiencia energética*, el uso de *energías alternativas*, la mejora de la calidad ambiental interior, la *eficiencia del consumo de agua*, el desarrollo sostenible de los espacios libres de la parcela y la selección de materiales. Existen cuatro niveles de certificación: certificado (LEED Certificate), plata (LEED Silver), oro (LEED Gold) y platino (LEED Platinum).



Figura 2.9: Rangos de Certificación Leed

La certificación, de uso voluntario, tiene como objetivo avanzar en la utilización de estrategias que permitan una mejora global en el impacto medioambiental de la industria de la construcción. El sistema de certificación LEED se basa en el análisis y validación por parte de un agente independiente, el USGBC ¹⁰, de una serie de aspectos de cada proyecto relacionados con la sostenibilidad.

Existen varios sistemas de evaluación dependiendo del uso y complejidad de los edificios.

⁹ Acrónimo de Leadership in Energy & Environmental Design

¹⁰ US Green Building Council



Figura 2.10: LEED

Estos estándares van evolucionando a lo largo del tiempo, con un criterio de mejora continua enfocado a ir aumentando progresivamente el grado de exigencia, en paralelo a la mejora de los aspectos relacionados con la sostenibilidad en la industria de la edificación. En el año 2009 se fijaron los siguientes estándares:

1. Green Building Design & Construction

- LEED for New Construction and Major Renovations
- LEED for Core & Shell Development
- LEED for Schools
- LEED for Retail New Construction (previsto para 2010)

2. Green Interior Design & Construction

- LEED for Commercial Interiors
- LEED for Retail Interiors (previsto para 2010)

3. Green Building Operations & Maintenance

- LEED for Existing Buildings: Operations & Maintenance

4. Green Neighborhood Development

- LEED for Neighborhood Development

5. Green Home Design and Construction

- LEED for Homes

En general, la metodología de todos los sistemas de evaluación LEED es la misma. Se establecen varias categorías, típicamente siete: Sustainable Sites (parcelas sostenibles), Water Efficiency (ahorro de agua), Energy and Atmosphere (eficiencia energética), Materials and Resources (materiales), Indoor Environmental Quality (calidad de aire interior), Innovation in Design (Innovación en el proceso de diseño) y Regional Priorities (prioridades regionales). Dentro de estos capítulos se incluye una serie de requisitos de cumplimiento obligatorio (Prerequisites) y créditos de cumplimiento voluntario (credits). La justificación del cumplimiento de dichos parámetros otorga una serie de puntos, en función de los cuales se otorga el grado de la certificación (LEED Certificate, Silver, Gold o Platinum).

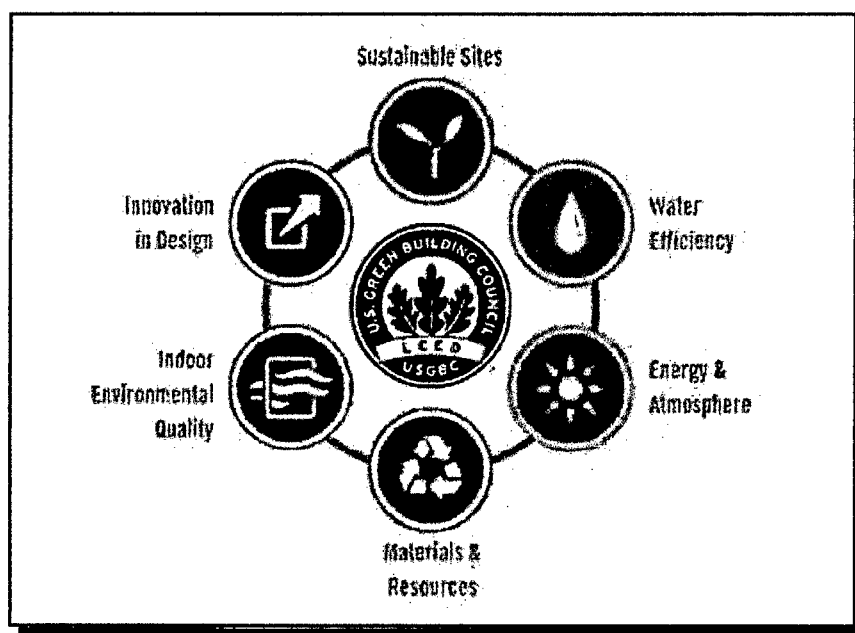


Figura 2.11: Categorías Leed

El proceso de certificación en las modalidades más habituales (edificios de nueva planta) tiene lugar durante las fases de proyecto y obra del edificio, obteniéndose la certificación al final de la fase de obra. Si bien no existe ningún requisito para abordar la certificación, es habitual que a los agentes del proyecto se incorpore un asesor especializado.

Además de la certificación de edificios, el USGBC dispone de programas de formación y titulación de profesionales, mediante las titulaciones LEED AP ¹¹ y LEED GA ¹².

¹¹ LEED Accredited Professional

¹² LEED Green Associate

2.4. Consumo(Energía activa)

Es la energía real eléctrica utilizada medida en kWh ¹³ por el medidor vatio por hora, independientemente del factor de potencia. La energía activa es aquella que al ingresar a una instalación por los conductores de electricidad produce luz, calor y movimiento. Es la que calienta las resistencias de un horno, provee las fuerzas para mover motores, produce luz al atravesar el filamento de un foco incandescente, es decir produce trabajo.

La energía activa representa numéricamente la dedicación que tuvo una porción de las maquinas generadoras de electricidad hacia nuestra instalación durante una determinada cantidad de tiempo, o lo que es lo mismo, pero desde el punto de vista del Consumidor, el gasto resultante del uso de sus equipos eléctricos durante cierta cantidad de tiempo.

2.4.1. Componentes de la energía activa

Los componentes de la energía activa son los siguientes: El primero es la potencia, cuyas unidades se miden en kilovatios (kW). De ahí que el consumo de energía sea proporcional a la potencia de los equipos, dato característico de cada uno de ellos. El segundo componente es el tiempo, cuya unidad más usual es la hora (h). De ahí que el consumo de energía sea proporcional al tiempo de uso de los equipos, o sea kWh.

Ejemplo

Si se lee en la placa de un motor que su potencia es de 3 kW , y si mantenemos el motor funcionando 10 horas seguidas (t), el consumo de energía (E) será:

$$E = P \times t = 3kW \times 10h = 30kWh \quad (2.1)$$

Donde:

E: Consumo de Energía

P: Potencia

t: Tiempo

¹³kilovatios horas

2.5. Sistema de Automatización

La automatización es un sistema donde se transfieren tareas de producción, realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos. Un sistema automatizado consta de dos partes principales:

- Parte de Mando
 - Parte Operativa
1. La Parte Operativa es la parte que actúa directamente sobre la máquina. Son los elementos que hacen que la máquina se mueva y realice la operación deseada. Los elementos que forman la parte operativa son los accionadores de las máquinas como motores, cilindros, compresores y los captadores como fotodiodos, finales de carrera.
 2. La Parte de Mando suele ser un autómata programable (tecnología programada), aunque hasta hace bien poco se utilizaban relés electromagnéticos, tarjetas electrónicas o módulos lógicos neumáticos (tecnología cableada). En un sistema de fabricación automatizado el autómata programable está en el centro del sistema. Este debe ser capaz de comunicarse con todos los constituyentes de sistema automatizado.

Objetivos de la automatización

- Mejorar la productividad de la empresa, reduciendo los costes de la producción y mejorando la calidad de la misma.
- Mejorar las condiciones de trabajo del personal, suprimiendo los trabajos penosos e incrementando la seguridad.
- Realizar las operaciones imposibles de controlar intelectual o manualmente.
- Mejorar la disponibilidad de los productos, pudiendo proveer las cantidades necesarias en el momento preciso.
- Simplificar el mantenimiento de forma que el operario no requiera grandes conocimientos para la manipulación del proceso productivo.
- Integrar la gestión y producción.

2.5.1. Sistema Automatizado en Edificios

Para ahorrar energía en su inmueble, debe asegurarse de que cada uno de los subsistemas del edificio desde la calefacción hasta la seguridad funcione como un solo sistema coherente. Al unir sistemas independientes, la automatización de edificios deriva directamente en un mayor nivel de rendimiento y en un uso más inteligente de la energía. El sistema de automatización de edificios garantiza que todos los sistemas de su inmueble incluidos los equipos, los controles y los sistemas de seguridad, iluminación y prevención de incendios funcionen en conjunto. Uno de los pilares del sistema es su compatibilidad con los estándares de comunicación abiertos, como pueden ser: BACnet - BACnet MS/TP, LonWorks, Modbus, XML, OPC

2.6. Fundamentos de Control

En un sistema de aire acondicionado la función primordial de los sistemas de control es mantener las condiciones de diseño interior del ambiente como lo son la temperatura y humedad. El sistema básico de control de aire acondicionado tiene los siguientes componentes:

- a) **Variable controlada:** son los parámetros como la temperatura, humedad o presión que deberán ser controlados.
- b) **Controlador:** consiste en dos partes básicas, el elemento sensor que recibe la señal externa y el elemento de control o transmisor que compara el valor de la variable controlada con el valor deseado y genera una acción al componente para hacer el ajuste correspondiente.
- c) **Fuente de energía:** medio de potencia para la transmisión de la acción del controlador como energía eléctrica o aire comprimido.
- d) **Componente controlado:** elemento que recibe la acción del controlador como válvulas, compuertas, motor del ventilador.
- e) **Agente de control:** medio que regula el componente controlado.
- f) **Equipo de control:** la regulación del agente de control cambia sus condiciones de operación.

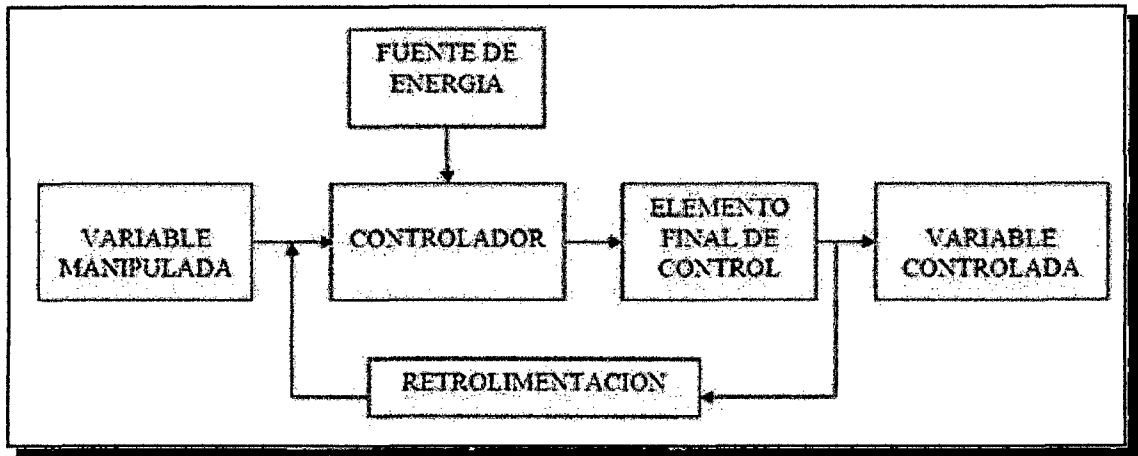


Figura 2.12: Diagrama de un Sistema de Control

2.6.1. Tipos de Acción de Control

Se definen los siguientes conceptos básicos:



- a) Señal de salida: es la variable que se desea controlar.
- b) Señal de referencia: es el valor que se desea que alcance la señal de salida.
- c) Error: es la diferencia entre la señal de referencia y la señal de salida.
- d) Señal análoga: es una señal continua en el tiempo.
- e) Señal digital: es una señal que solo toma valores de 1 o 0.
- f) Señal de control: es la señal que produce el controlador para modificar la variable controlada de tal forma que se disminuya o elimine el error.
- g) Sistema de control de lazo cerrado: es aquel en el cual se está monitoreando la señal de salida para compararla con la señal de referencia y calcular la señal de error, la cual a su vez aplicada al controlador para aplicar la señal de control y tratar de llevar la señal de salida al valor deseado.
- h) Sistema de control de lazo abierto: en estos sistemas de control la señal de salida no es monitoreada para generar una señal de control.

2.6.1.1. Acción de dos posiciones (on/off)

El componente controlado puede ser posicionado solamente en una condición máxima o mínima, o encendido o apagado. El controlador que actúe según dos posiciones, tendrá un "valor inferencial" o rango algo menor que al "diferencial de funcionamiento" de la variable controlada debido al desfase que transcurre entre la actuación del dispositivo y la reacción del sistema.

2.6.1.2. Acción flotante

El componente controlado se deberá mover entre las posiciones cerrada y abierta operado por un controlador de dos posiciones. Generalmente una zona neutra entre las dos posiciones permite que el componente controlado "flote" en una posición intermedia, siempre que el valor de la variable controlada esté dentro del diferencial del controlador.

2.6.1.3. Acción proporcional

El controlador en este modo de acción envía su señal en proporción a la magnitud de cambio en la variable controlada moviéndose proporcionalmente el componente controlado. El controlador y el componente controlado deberán ser del tipo proporcional.

1. Acción proporcional más integral En el control integral, el elemento final se mueve de acuerdo a una función integral en el tiempo de la variable controlada. Con una acción integral, un error pequeño positivo produce una acción de control creciente, y si fuera negativo la señal de control será decreciente.
2. Acción proporcional más derivado: En la regulación derivada existe una relación lineal continua entre la velocidad y la posición del elemento final de control. Cuando una acción de control derivada se agrega a un controlador permite obtener un controlador de alta sensibilidad.
3. Acción proporcional más integral más derivada (PID): Esta acción combinada reúne las ventajas de cada una de las acciones de control individuales. Se fija la banda proporcional, se amplifica la desviación entre la variable y el punto de consigna, se fija el valor del punto de consigna.

2.6.2. Control PID

El control PID se encarga de regular la salida de una proceso a través una combinación de acciones correctivas.

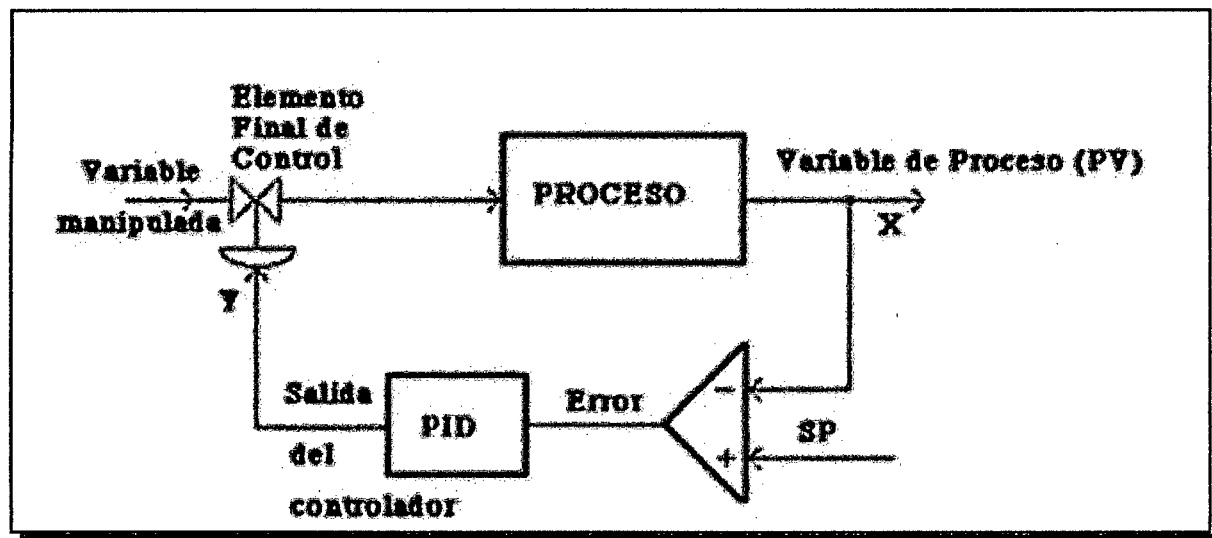


Figura 2.13: Diagrama de un Control PID

El Setpoint (SP) se compara con la variable de proceso (X). La diferencia entre ellos es el error (E). La acción derivada establece la velocidad de cambio, a esta se le suma la acción integral, la cual integra la función que representa el error con respecto al tiempo, obteniendo el valor de la constante de tiempo T. Este se mide en repeticiones por segundos. Mientras mayor sea T, menor es la acción integral.

2.7. Controladores Lógicos Programables

Un controlador lógico programable (Programmable Logic Controller) es un dispositivo operado digitalmente, que usa una memoria para el almacenamiento interno de instrucciones con el fin de implementar funciones específicas, tales como lógica, secuencial, registro y control de tiempos, conteo y operaciones aritméticas, para controlar a través de entradas/salidas digitales o analógicas, varios tipos de máquinas o procesos. Los PLCs operan de manera secuencial y cíclica, es decir, una vez finalizado el recorrido completo de un programa, comienza a ejecutar su primera instrucción.

2.7.1. Componentes

- a) **Unidad central de proceso (CPU):** este toma las decisiones relacionadas al control de la maquina o proceso. Realiza las operaciones aritméticas y lógicas que recibe de las entras de diferentes dispositivos de censado, las cuales procesa y almacena en su memoria para luego controlar los dispositivos de salida de acuerdo al resultado de la lógica programada.
- b) **Módulos de entrada:** este elemento recibe las señales directamente de los elementos primarios de control.
- c) **Módulos de salida:** estos elementos envían señales a los elementos finales de control
- d) **Fuente de alimentación:** brinda energía de corriente continua a los diferentes elementos electrónicos que conforman el controlador. La entrada de alimentación puede ser de corriente alterna o corriente continua típicamente de 110VAC, 220 VAC o 24VDC, etc.
- e) **Memoria de almacenamiento:** es aquí donde el controlador almacena toda la información que necesita para ejecutar la tarea es decir, datos del proceso y datos de control. Existen varios tipos de memoria RAM, ROM, EPRON Y EEPRON.
- f) **Puertos de comunicación:** permite al controlador intercambiar información con dispositivos, ya sean otros controladores, HMI, PC, unidad de red, etc.

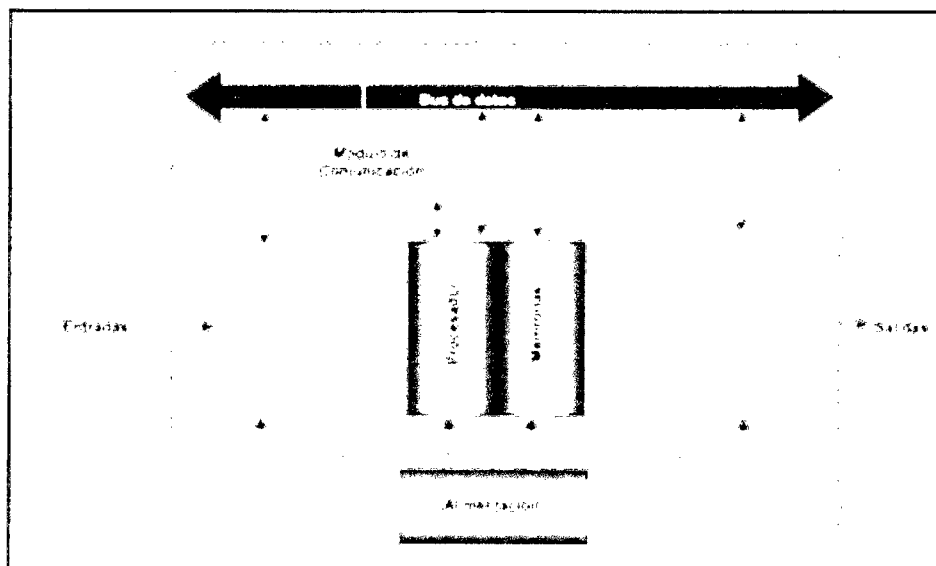


Figura 2.14: Elementos de un Controlador Lógico Programable

2.7.2. Distribución de los PLC's

Debido a la gran variedad de tipos distintos de PLC, tanto en sus funciones, en su capacidad, en el número de I/O, en su tamaño de memoria, en su aspecto físico y otros, es que le permite al usuario final, escoger entre tantas gamas para cada aplicación que se requiera y esto hace posible clasificar los distintos tipos en varias categorías.

- **PLC tipo Nano:** Generalmente PLC de tipo compacto (Fuente, CPU e I/O integradas) que puede manejar un conjunto reducido de I/O, generalmente en un número inferior a 100. Permiten manejar entradas/salidas digitales y algunos módulos especiales.
- **PLC Compactos:** Estos PLC tienen incorporado la Fuente de Alimentación, su CPU y módulos de I/O en un solo módulo principal y permiten manejar desde unas pocas I/O hasta varios cientos (alrededor de 500 I/O) , su tamaño es superior a los Nano PLC y soportan una gran variedad de módulos especiales, tales como: entradas y salidas análogas, módulos contadores rápidos, módulos de comunicaciones, interfaces de operador
- **PLC Modulares:** Su característica principal es la de que existe un módulo para cada uno de los diferentes elementos que componen el PLC como puede ser una fuente de alimentación, CPU, E/S, etc.

2.7.3. Lenguajes de Programación de los PLC's

En la actualidad cada fabricante diseña su propio software de programación, lo que significa que existe una gran variedad comparable con la cantidad de PLC's que hay en el mercado. De acuerdo al estándar IEC 1131-3, este define dos lenguajes gráficos y dos lenguajes basados en texto, para la programación de PLC's.

1. Lenguajes Gráficos:

- Diagrama Ladder (LD)
- Diagrama de Bloques de Funciones (FBD)

2. Lenguajes Textuales:

- Lista de Instrucciones (IL)
- Texto Estructurado (ST)



2.7.3.1. Lenguaje Ladder

El Ladder, también denominado lenguaje de contactos o de escalera, es un lenguaje de programación gráfico muy popular dentro de los Controladores Lógicos Programables (PLC), debido a que está basado en los esquemas eléctricos de control clásicos. De este modo, con los conocimientos que todo técnico eléctrico posee, es muy fácil adaptarse a la programación en este tipo de lenguaje. Su principal ventaja es que los símbolos básicos están normalizados según normas NEMA y son empleados por todos los fabricantes.

2.7.4. PLC CompactLogix

Los controladores CompactLogix usan un motor de control común con un ambiente de desarrollo común para proporcionar control de aplicaciones de rango medio en un ambiente fácil de usar. La estrecha integración entre el software de programación, el controlador y los módulos de E/S reduce el tiempo de desarrollo y el costo en la puesta en marcha y durante la operación normal.

2.7.4.1. Controlador CompactLogix 1769

El controlador CompactLogix 1769 ofrece control, comunicación y elementos de E/S avanzados en un paquete de control distribuido.

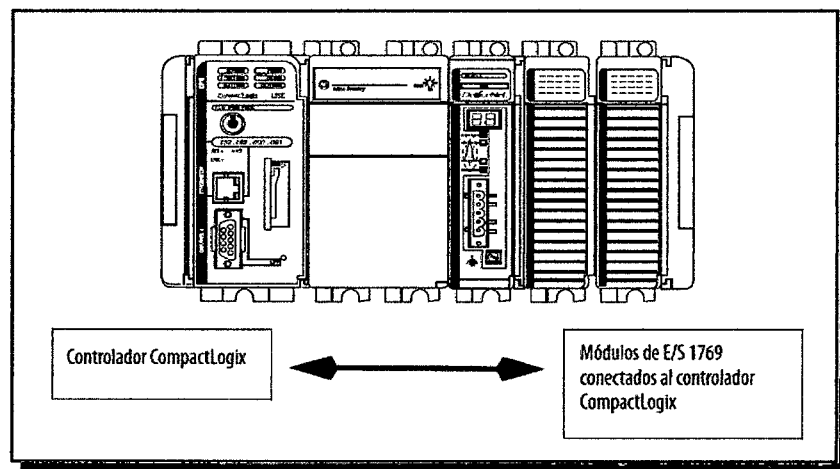


Figura 2.15: Controlador CompactLogix y módulos de E/S 1769

El controlador CompactLogix, parte de la familia de controladores Logix, proporciona un sistema pequeño, eficiente y rentable que consta de lo siguiente:

- Software de programación RSLogixTM 5000
- Puertos incorporados de comunicación para redes EtherNet/IP (solo 1769-L32E y 1769-L35E) y ControlNet (solo 1769-L32C y 1769-L35CR solo)
- Un módulo de interface de comunicación 1769-SDN proporciona control de E/S y la configuración remota de los dispositivos a través de DeviceNet
- Un puerto serial incorporado en cada controlador CompactLogix
- Módulos Compact I/O que proporcionan un sistema de E/S compacto, montado en panel o riel DIN

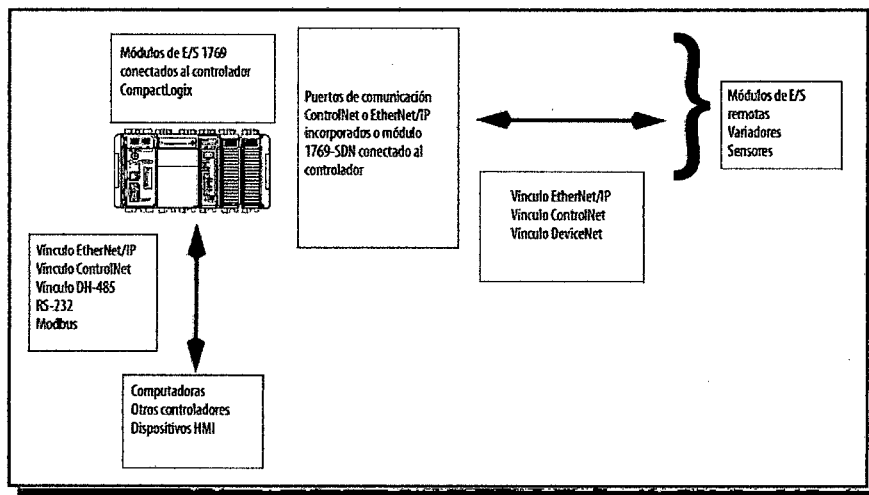


Figura 2.16: Descripción general del sistema CompactLogix

2.7.5. PLC MicroLogix

La gama de los MicroLogix representa una familia de controladores que tiene en su lista a los ya populares MicroLogix 1000, MicroLogix 1100, MicroLogix 1200, MicroLogix 1400 y MicroLogix 1500, están diseñados para ampliar la cobertura de aplicaciones mediante entradas analógicas incorporadas, comunicaciones Ethernet y capacidades de visualización.

Los controladores MicroLogix 1400 y 1100 mantienen las mismas funciones críticas que se esperan de la familia MicroLogix y expande esa capacidad para incluir una verdadera edición en línea. Los controladores MicroLogix, incluyen controladores más sencillos para las aplicaciones que requieren de hasta 80 E/S digitales.

2.7.5.1. Micrologix 1400 (1766-L32AWA)

Posee las mismas características de protección que el Micrologix 1100, lo único que cambia es el número de entradas y salidas tanto digitales como analógicas. Este dispositivo tiene una alimentación eléctrica de 110/220 VCA y posee 20 entradas digitales (120 VCA), 12 salidas a relé todas individualmente aisladas y 06 entradas analógicas, se pueden insertar hasta 07 módulos de expansión. Cada controlador admite un puerto integrado combinado RS-232 / RS-485 para comunicación en serie y en red, así como un segundo puerto integrado EtherNet/IP, que admite mensajería Ethernet de igual a igual.

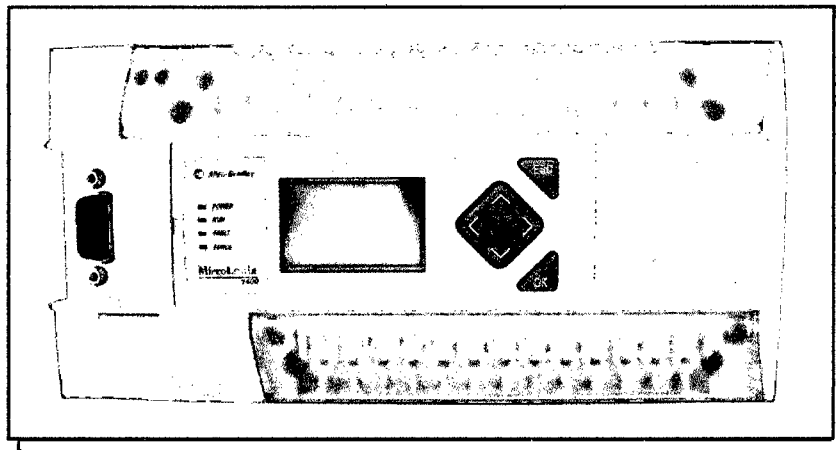


Figura 2.17: Controlador MicroLogix 1400

2.7.5.2. PLC Micro800

El sistema de control Micro800 es fácil de instalar y mantener. Un paquete de software se aplica a toda la familia. Estos sistemas ofrecen el control suficiente para sus máquinas autónomas de menor costo. Puede comprar solo la funcionalidad que necesita y usar módulos enchufables para personalizar su sistema de acuerdo con necesidades específicas de la aplicación. Usa el software **Connected Components Workbench** con la tecnología de Microsoft Visual Studio

- Características

- Ofrece un amplio rango de controladores de tamaño pequeño (10 a 48 puntos) optimizados para tareas específicas

- Los complementos añaden puertos de comunicación (DeviceNet, puertos seriales) y E/S (digitales, analógicas, HSC) sin aumentar las medidas del controlador
- Ethernet incorporada proporciona conectividad a PC, HMI y otros dispositivos con Micro820 y Micro850

a) **Micro 850**

Algunas de sus características son:

- Ofrecer controladores de 24 puntos y 48 puntos
- Incluye entradas de contador de alta velocidad de 100 KHz de velocidad (HSC) en los modelos 24 VCC
- Brinda comunicaciones integradas mediante el puerto de programación USB, puerto serie no aislado (para las comunicaciones RS-232 y RS-485) y puerto Ethernet
- Acepta hasta cinco módulos enchufables Micro800^R
- Acepta hasta cuatro módulos E/S de expansión Micro850^R, hasta 132 puntos E/S
- Brinda capacidades de movimiento integradas al aceptar hasta tres ejes con Salidas de tren de impulso (PTO)
- Se comunica a través de EtherNet/IPTM
- Funciona en temperaturas de -20 a 65 °C (-4 a 149 °F)

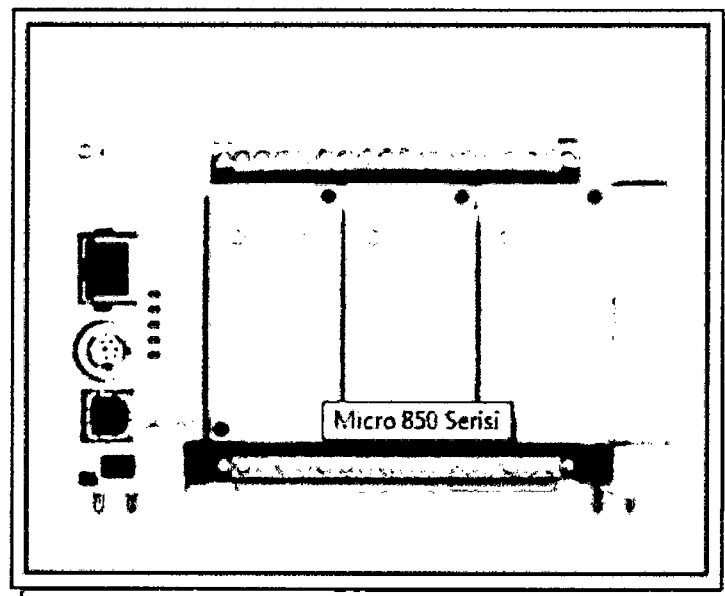


Figura 2.18: Controlador Micro850

2.8. Sensores

Son los elementos que detectan o sensan cambios en el valor de la variable controlada. A menudo se denominan elementos primarios de control y en algunos casos forman parte de un bloque con el llamado transmisor o aquel que recibe la salida del sensor y adapta esta señal con fines de transmitirla, a este conjunto se le denomina transductor.

2.8.1. Tipos de Sensores

- **Sensores Analógicos:** cuando la señal puede tomar un número infinito de valores bien diferenciados dentro de un margen o lo que es mismo, que la señal varía en forma continua dentro de dicho intervalo. Normalmente presenta problemas relacionados con la presencia de ruido, interferencias y distorsión.
- **Sensores Digitales:** cuando la señal solo puede tener un número finito de valores bien diferenciados dentro de un margen, es decir, que la función varía de forma discreta. Cada vez es más común que los sensores tengan una salida numérica.
- **Sensores Todo o Nada:** estos sensores son aquellos en los que la salida solo presenta dos estados, los cuales están separados por un valor umbral de la variable detectada.
- **Sensores Mecánicos:** Son dispositivos que cambian su comportamiento bajo la acción de una magnitud física que pueden directa o indirectamente transmitir una señal que indica cambio.
- **Sensores de No Contacto:** Como su nombre lo indica, la característica principal es el hecho de que permiten detectar el objeto sin que se necesite el contacto físico. Esto confiere una capacidad de maniobra mucho mayor y además permite mantener inalterable el sistema de control.
- **Sensores Ultrasonico:** Como su nombre lo indica, la característica principal es el hecho de que permiten detectar el objeto sin que se necesite el contacto físico. Esto confiere una capacidad de maniobra mucho mayor y además permite mantener inalterable el sistema de control. Además, según el tiempo que transcurre en ir y regresar el pulso sónico, se puede determinar la distancia entre el sensor y el objeto. Las ondas sónicas solo pueden irradiarse si existe un medio. Este medio puede ser, para el caso del ultrasonido un gas, un fluido o un material rígido.

1. Sensores de Temperatura

Los sensores de temperatura son dispositivos que transforman los cambios de temperatura en cambios en señales eléctricas que son procesados por equipo eléctrico o electrónico.

Hay tres tipos de sensores de temperatura, los termistores, los RTD y los termopares.

(a) Termistor

El termistor está basado en que el comportamiento de la resistencia de los semiconductores es variable en función de la temperatura. Existen los termistores tipo NTC y los termistores tipo PTC. En los primeros, al aumentar la temperatura, disminuye la resistencia. En los PTC, al aumentar la temperatura, aumenta la resistencia.

(b) RTD

Un RTD ¹⁴ es un sensor de temperatura basado en la variación de la resistencia de un conductor con la temperatura. Los metales empleados normalmente como RTD son platino, cobre, níquel y molibdeno. De entre los anteriores, los sensores de platino son los más comunes por tener mejor linealidad, más rapidez y mayor margen de temperatura.

(c) Termopar

El termopar, también llamado termocupla y que recibe este nombre por estar formado por dos metales, es un instrumento de medida cuyo principio de funcionamiento es el efecto termoeléctrico. Un material termoeléctrico permite transformar directamente el calor en electricidad, o bien generar frío cuando se le aplica una corriente eléctrica.

2. Sensores de Caudal

Los sensores de caudal recogen las velocidades del flujo de aire o líquidos, usan diferentes principios de medición. Los sensores de caudal para líquidos funcionan por ejemplo sobre la base de ultrasonidos. Esta medición sin contacto tiene la ventaja que los sensores no están expuestos a golpes de ariete y medios sólidos. Por otro lado, los sensores de caudal son utilizados en el sector de calefacción, ventilación y climatización para el análisis de la velocidad del aire.

¹⁴resistance temperature detector

Los sensores de flujo se clasifican en:

(a) Elementos deprimógenos:

Placa Orificio, Tobera, Venturi, Cuña, Codo, Pitot, Pitot Promediante. Este grupo de caudalímetros está basado en la ecuación de Bernoulli que establece que la suma de energía cinética más la energía potencial de altura más la energía potencial debido a la presión que tiene un fluido permanece constante.

(b) Flujómetro Electromagnético:

Los caudalímetros electromagnéticos están basados en la Ley de Faraday, de la cual se deduce que en un conductor en movimiento en un campo magnético constante se inducirá un voltaje. Este voltaje será proporcional a la velocidad de movimiento del conductor y a su Longitud.

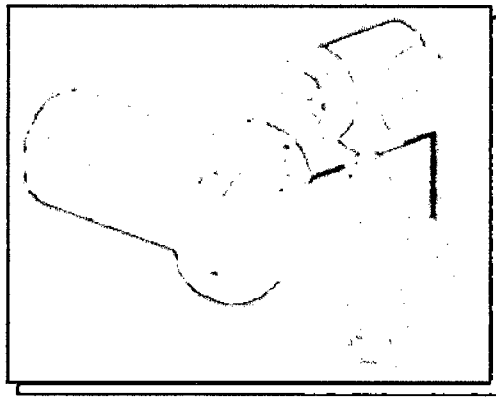


Figura 2.19: Flujómetro Electromagnético

(c) Turbina:

Los medidores de tipo turbina se basan en el uso de piezas rotantes que son impulsadas por el flujo del fluido, (tales como hélices empujadas por el fluido) y giran a una velocidad proporcional al caudal del fluido circulante. Los caudalímetros a turbina no son aptos para medir productos viscosos ni con arrastre de sólidos.

(d) Medidores de caudal por Ultrasonido:

Los caudalímetros por ultrasonido están basados en la propagación de ondas de sonido en un fluido. Existen dos principios básicos para esta medición: Tiempo de Tránsito y Efecto Doppler. En los caudalímetros por tiempo de tránsito, la velocidad de flujo se determina por la diferencia entre la velocidad de propagación de una onda de sonido a favor y otra en contra del flujo.

3. Sensores de Presión

Los sensores de presión o transductores de presión son elementos que transforman la magnitud física de presión o fuerza por unidad de superficie en otra magnitud eléctrica que será la que emplearemos en los equipos de automatización o adquisición estándar. Los rangos de medida son muy amplios, desde unas milésimas de bar hasta los miles de bar.

4. Sensores Nivel

Es un dispositivo electrónico que mide la altura del material, generalmente líquido, dentro de un tanque u otro recipiente. Integral para el control de procesos en muchas industrias, los sensores de medición de nivel se dividen en dos tipos principales. Los sensores de medición de punto de nivel se utilizan para marcar una altura de un líquido en un determinado nivel preestablecido.

- **Interruptores de flotador** En estos sensores de nivel de punto, un flotador magnético se mueve en la superficie del líquido, accionando un sellado herméticamente. El simple mantenimiento hace que se instale fácilmente, minimiza el impacto, la vibración y la presión, y trabaja con una gran variedad de medios de comunicación.
- **Sensores de Nivel Ultrasónico**
Se basa en la emisión de un impulso ultrasónico a una superficie reflectante y la recepción del eco del mismo en un receptor. El retardo en la captación del eco depende del nivel del tanque.

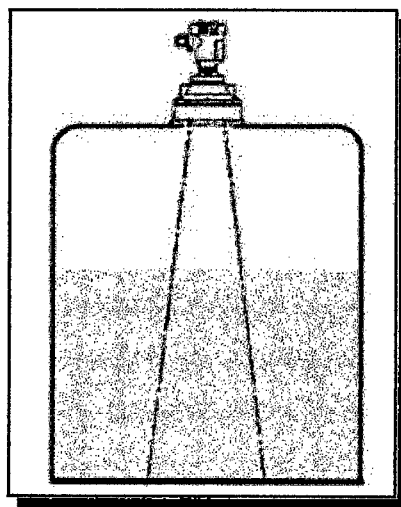


Figura 2.20: Transmisor de Nivel Ultrasónico

5. Sensores de CO2

Clásicamente, a la hora de controlar o medir la calidad del aire en alguna aplicación se ha medido la humedad relativa y especialmente la temperatura, si bien actualmente el CO2 es un parámetro que está tomando relevancia el campo de la evaluación del confort humano y calidad del aire a través del control de la ventilación y el acondicionamiento del aire (HVAC).

6. Sensores de Movimiento

Es un dispositivo electrónico que responde a un movimiento físico. Se encuentran, generalmente, en sistemas de seguridad o en circuitos cerrados de televisión.

2.9. Actuadores

Un actuador es un dispositivo inherentemente mecánico cuya función es proporcionar fuerza para mover o “actuar” otro dispositivo mecánico. La fuerza que provoca el actuador proviene de tres fuentes posibles: Presión neumática, presión hidráulica, y fuerza motriz eléctrica (motor eléctrico o solenoide). Dependiendo del origen de la fuerza el actuador se denomina “neumático”, “hidráulico” o “eléctrico”.

2.9.1. Actuador Rotatorio Eléctrico

Para hacer funcionar el actuador eléctrico, se debe energizar los bornes correspondientes para que el motor actúe en la dirección apropiada. Usualmente vienen con un controlador local o botonera que hace este proceso más sencillo. Sin embargo para la automatización remota del actuador, se debe considerar el diagrama de cableado que viene con el actuador. Las conexiones deben considerar fuerza, señales de límites de carrera y torque, señales análogas o digitales de posición y torque, etc.

El torque generado por el motor eléctrico es aumentado por un reductor interno o externo para dar salida al torque final en el tiempo seleccionado. Esta es la razón por la que los actuadores eléctricos toman más tiempo en recorrer la carrera que los neumáticos o hidráulicos.

2.9.2. Válvula Mariposa

La válvula de mariposa consiste en un disco (llamado también chapaleta u hoja), un cuerpo con cojinetes y empaquetadura para sellamiento y soporte, un eje, y un disco de control de fluido. Esta válvula obtura y regula. Una válvula tipo mariposa es un dispositivo para interrumpir o regular el flujo de un fluido en un conducto. Además ejerce la acción de cierre mediante un desplazamiento giratorio en el rango de un cuarto de vuelta. El elemento de cierre consiste en una lenteja circular que gira sobre un eje diametral y que encaja en la sección transversal (circular) de la válvula.

2.9.2.1. Funcionamiento

El funcionamiento básico de las válvulas de mariposa es sencillo pues sólo requiere una rotación de 90° del disco para abrirla por completo. Además, son válvulas de control muy eficientes en comparación a las otras válvulas de control del tipo globo ya que la velocidad de la corriente en el flujo no se pierde, porque el fluido circula en forma aerodinámica alrededor del disco; por tal motivo la pérdida de carga es pequeña. Cuando la válvula está totalmente abierta, la corriente circula de forma aerodinámica alrededor del disco, y aunque la pérdida de carga es ligeramente superior a las válvulas esféricas o de compuerta, ya que éstas tienen la sección totalmente libre de obstáculos, es claramente inferior a la válvula globo.

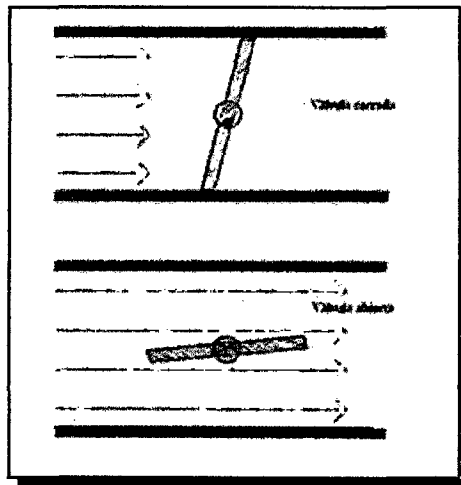


Figura 2.21: Accionamiento de la Válvula Mariposa

2.10. Motores Eléctricos

Un motor eléctrico es una máquina eléctrica que transforma energía eléctrica en energía mecánica y luego en movimiento rotativo, por medio de interacciones electromagnéticas. Estos dispositivos se construyen en formatos normalizados, que vienen dados por la norma DIN42950.

2.10.1. Características Eléctricas del Motor

2.10.1.1. Voltaje

Cada motor utiliza diferentes tipos de tensiones para poder alimentar a estos elementos: 220, 380, 440 VAC para máquinas de pequeña y mediana potencia.

2.10.1.2. Intensidad de Corriente

Al momento de iniciar con el encendido del motor, este absorbe diferentes valores de corrientes que a continuación se mencionan:

- **Corriente de arranque:** Durante el arranque de un motor, la corriente solicitada es considerable y puede provocar una caída de tensión que afecte al funcionamiento de los receptores del entorno.

TIPO DE ARRANQUE	CORRIENTE DE ARRANQUE
Arranque Directo	4 a 8 I_n
Arranque Estático con Resistencias	4 a 5 I_n
Arranque por Autotransformador	1.7 a 4 I_n

Tabla 2.1: Comparación de corriente de arranque.

- **Corriente Absorbida:**

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi \cdot \eta} \quad (2.2)$$

Donde: U= Tensión de la red.

η = Rendimiento del motor.

P= Potencia útil desarrollada por el motor.

2.10.1.3. Potencia

Tal como y como sabemos el motor toma de la red la potencia absorbida, una potencia perdida, y por último la potencia útil que es la que desarrolla el eje de la máquina, por tanto:

$$P_t = P_u + P_p \quad (2.3)$$

- **Potencia Total o Absorbida**

$$P_t = \sqrt{3}.U.I.\cos\varphi \quad (2.4)$$

Donde:

P_t = Potencia Total (watts).

U = Tensión de la red.

I = Intensidad consumida por el motor.

- **Potencia Útil**

$$P_u = \sqrt{3}.U.I.\cos\varphi.\eta \quad (2.5)$$

Donde:

P_u = Potencia útil (watts).

U =Tensión de la red.

I = Intensidad consumida por el motor.

η = Rendimiento del motor.

- **Potencia Reactiva**

$$Q = \sqrt{3}.U.I.\sin\varphi \quad (2.6)$$

2.10.1.4. Rendimiento

Entendemos como rendimiento de un motor el cociente entre su potencia útil o desarrollada en el eje (este dato lo proporciona el fabricante mediante la placa de características del motor) y la potencia total o absorbida de la red.

$$\eta = \frac{P_u}{P_t}, 100 \quad (2.7)$$

2.10.2. Métodos de Arranque de los Motores Trifásicos

2.10.2.1. Arranque Directo

La manera más simple de arrancar un motor de jaula de ardilla es conectar el motor directamente a la red. En el momento de la puesta bajo tensión, el motor actúa como un transformador cuyo secundario, formado por la jaula de poca resistencia del rotor, está en cortocircuito. La corriente inducida en el rotor es importante. La corriente primaria y la secundaria son prácticamente proporcionales. Se aplica a aquellos motores de una potencia nominal menor de 5KW (6.8 C.V.), aunque en la práctica sólo se aplica para motores de potencia nominal menor de 5C.V. Se obtiene una punta de corriente importante en la red:

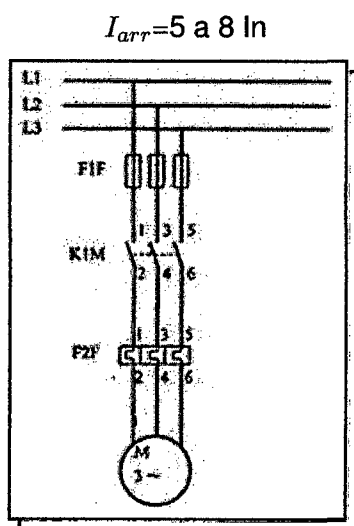


Figura 2.22: Arranque Directo

El arranque directo tiene una serie de ventajas las cuales son: sencillez del equipo, elevado par de arranque, arranque rápido y bajo costo de implementación. A pesar de dichas ventajas que conlleva, solo es posible utilizarse en los siguientes casos:

- La potencia del motor es débil con respecto a la de la red, para limitar las perturbaciones que provoca la corriente solicitada.
- La máquina accionada no requiere un aumento progresivo de velocidad y dispone de un dispositivo mecánico que impide el arranque brusco.
- El par de arranque debe ser elevado.

2.10.2.2. Arranque por Variador de Frecuencia

- **Variadores de frecuencia:** se trata de dispositivos electrónicos, que permiten el control completo de motores eléctricos de inducción; los hay de c.c. (variación de la tensión), y de c.a. (variación de la frecuencia); los más utilizados son los de motor trifásico de inducción y rotor sin bobinar (jaula de ardilla). También se les suele denominar inversores (inverter) o variadores de velocidad.

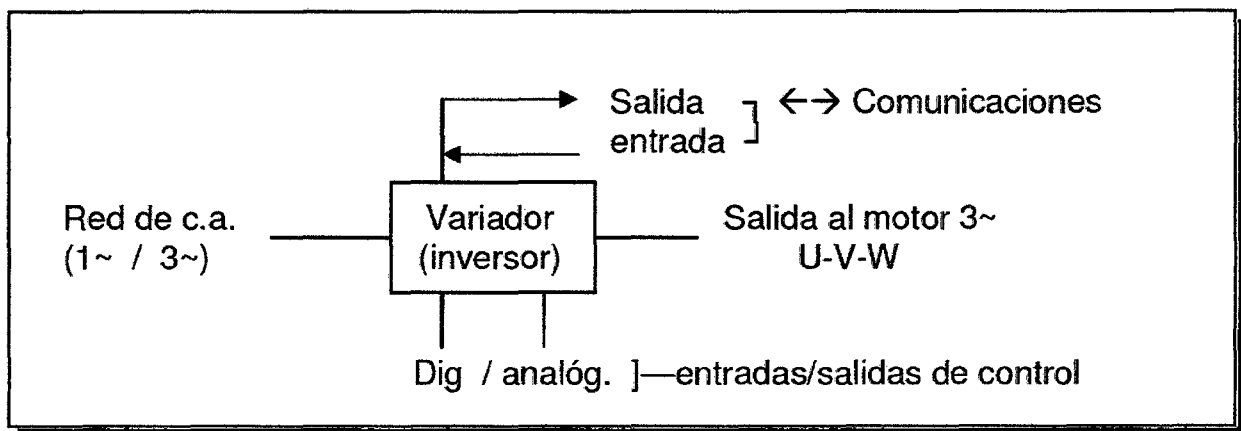


Figura 2.23: Variador de Frecuencia

- **Red de suministro:** acometida de c.a., monofásica en aparatos para motores pequeños de hasta 1,5 kw (2 C.V. aprox), y trifásica, para motores de más potencia, hasta valores de 630 kw o más.
- **Entradas y salidas (E/S ó I/O):** diferentes conexiones de entradas y salidas de control; pueden ser digitales tipo todo o nada (contactos, pulsadores, conmutadores, contactos de relé) o analógicas mediante valores de tensión (0-10 V o similares) e intensidad (4-20 mA o similares). Además puede incluir terminales de alarma, avería, etc. **Comunicaciones:** estos dispositivos pueden integrarse en redes industriales, por lo que disponen de un puerto de comunicaciones, por ejemplo RS-232, RS-485, red LAN, buses industriales (Profibus) o conexiones tipo RJ-45 o USB para terminales externos y ordenadores. Cada fabricante facilita el software de control, directo o mediante bus de comunicaciones. Que permitirá el control, programación y monitorización del variador (o variadores) en el conjunto de aparatos de control empleados.
- **Salida:** conexión al motor, generalmente de tres hilos (U-V-W) para conexión directa en triángulo o estrella según la tensión del motor.

2.11. Bombas

La elevación e impulsión de líquidos ha sido un problema difícil de resolver satisfactoriamente en tiempos atrás y ocupa un amplio campo en la técnica de la ingeniería actual. Extraer agua de los pozos, almacenándolo en la superficie, impulsarlo a cotas convenientes, en una palabra transportar un líquido de un nivel inferior a otro superior, es el objeto y fin de las máquinas de bombeo.

2.11.1. Bomba Centrífuga

La característica principal de la bomba centrífuga es la de convertir la energía de una fuente de movimiento (el motor) primero en velocidad (o energía cinética) y después en energía de presión. El rol de una bomba es el aporte de energía al líquido bombeado (energía transformada luego en caudal y altura de elevación), según las características constructivas de la bomba misma y en relación con las necesidades específicas de la instalación.

El funcionamiento es simple: dichas bombas usan el efecto centrífugo para mover el líquido y aumentar su presión. Dentro de una cámara hermética dotada de entrada y salida (tornillo sin fin o voluta) gira una rueda con paleta (rodete), el verdadero corazón de la bomba. El rodete es el elemento rodante de la bomba que convierte la energía del motor en energía cinética (la parte estática de la bomba, o sea la voluta, convierte, en cambio, la energía cinética en energía de presión).

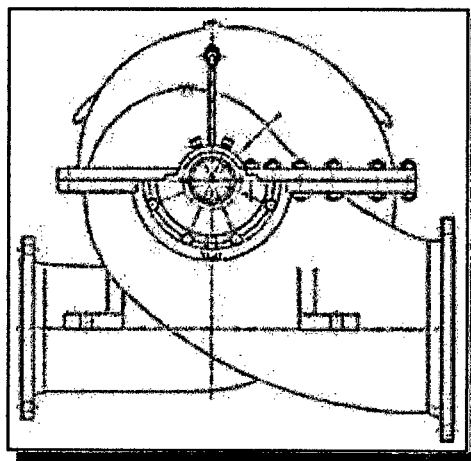


Figura 2.24: Bomba Centrífuga de doble Succión

2.12. Chiller

Un chiller es un refrigerador de líquido, que como en un sistema de expansión directa, mediante el intercambio térmico o bien calienta o enfría. El Chiller como característica principal tiene: mantener el líquido refrigerado cuando funciona en función frío o mantener el líquido calentado en función bomba de calor.

Normalmente denominaremos “chiller” al equipo que se utiliza principalmente para enfriar agua, aunque puede enfriar otros fluidos como salmueras, esto es necesario cuando se requieren temperaturas inferiores a la temperatura de congelación del agua.

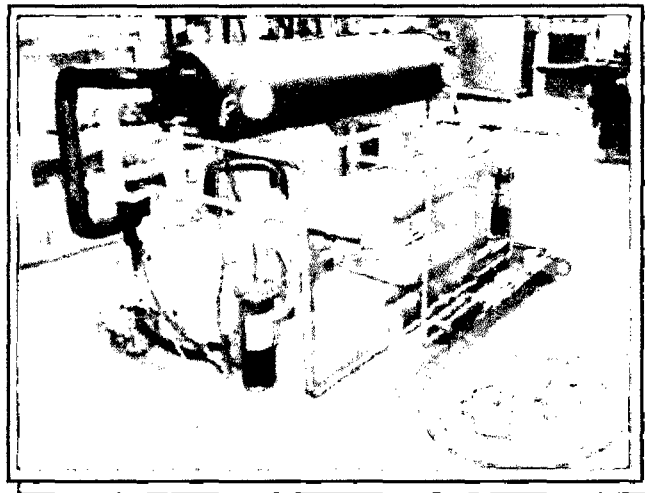


Figura 2.25: Chiller

- **Chiller como climatizador:** El chiller como las unidades de expansión directa se coloca en el exterior del edificio. En el interior del edificio se colocará las unidades termo-ventiladas denominadas FAN-COIL que son similares a las unidades interiores de un sistema de expansión directa. Las únicas conexiones entre la unidad interna y la unidad externa es un circuito hidráulico común cerrando un circuito.

El líquido tratado en la unidad exterior enfriado o calentado circulará impulsada por la bomba incluida en el sistema hídrico, por todas las unidades FAN-COIL. Finalmente el FAN-COIL utiliza el agua que circula por él, enviando el resultante del intercambio térmico (Aire frío o aire caliente), mediante un ventilador al ambiente según las demandas de confort del usuario.

2.12.1. Funcionamiento del Chiller

La unidad enfriadora de agua opera mediante el ciclo de refrigeración a base de la compresión de un vapor, y lo que específicamente realiza es extraer el calor de un espacio y rechazarlo posteriormente a otro espacio seleccionado. Para ello cuenta con cuatro (4) componentes básicos y un fluido conocido como refrigerante que circula entre ellos.

En el **Evaporador** se absorbe el calor para nuestro caso; se absorbe calor del agua y al hacer esto la misma baja su temperatura. Al desarrollar este proceso, el fluido que circula (el refrigerante) se evapora y lo toma el **Compresor** donde se le eleva la presión y la temperatura, para luego rechazar en el **Condensador** el calor absorbido a un medio seleccionado, en nuestro caso agua. Al rechazar el calor el refrigerante se condensa y pasa al dispositivo de control donde se le baja la presión y la temperatura y está listo para absorber calor nuevamente en el evaporador. En la parte exterior de la casa de máquinas se encuentra un equipo que se le conoce con el nombre de **Torre de Enfriamiento**. La misma es necesaria ya que como hemos indicado anteriormente, el calor que se rechaza en el enfriador lo rechazamos al agua (Ciclo de Condensación). En modo de ejemplo hablemos del edificio en el que se encuentran instalados básicamente dos (2) tipos de equipos que serán los encargados de extraer calor de las áreas que deseamos acondicionar. En el área Administrativa se encuentran los "fan coil", uno en cada oficina a acondicionar. En el área de los salones se han instalado las denominadas **unidades manejadoras de aire** donde desde allí y a través de conductos llevan aire a los salones, el cual extraerá el calor y lo llevará a las unidades manejadoras de agua para que otro flujo (agua) lo absorba.

Ya nos hemos percatado que el sistema de aire acondicionado funciona con procesos meramente de intercambio de calor. Si nos apoyamos en el siguiente esquema, le indicaremos el funcionamiento general del sistema. El agua fría (45 °F) la obtenemos de la unidad enfriadora de agua, la llevamos por medio de tuberías y con la ayuda de la bomba de agua fría al edificio; de allí la hacemos pasar a través de las unidades manejadoras de aire y los "fan coil", regresa a la unidad enfriadora de agua para que se le extraiga el calor, como ya revisamos cuando describimos la operación de la unidad enfriadora de agua. Por otro lado, en el ciclo de condensación, el calor que rechaza la unidad enfriadora de agua lo toma el otro ciclo independiente de agua y lo lleva a la torre de enfriamiento, utilizando la bomba de agua de condensación, donde el aire que allí circula se encarga de extraerle el calor y rechazarlo al ambiente exterior.

2.12.1.1. Porqué utilizar este tipo de sistema:

En estos momentos nos estaremos preguntando ¿Por qué utilizar un sistema con tantos dispositivos si existen otros más simples?

La respuesta es sencilla: Es cierto que este tipo de sistema requiere de mucho equipo y de una inversión inicial relativamente alta, pero cuando el mismo entre en operación, el consumo de energía eléctrica será significativamente menor que si hubiera instalado otro tipo de sistema. En esta misma línea se recomienda que para sistemas de capacidades mayores de 150 toneladas de refrigeración, se utilice el sistema de expansión indirecta. (1 Ton de ref. = 12.000 BTU/hr).

2.12.2. Componentes de los Chillers**2.12.2.1. El Compresor**

El compresor es el corazón del sistema, ya que es el encargado de hacer circular al refrigerante a través de los diferentes componentes del sistema de refrigeración del "chiller". Succiona el gas refrigerante sobrecalentado a baja presión y temperatura, lo comprime aumentando la presión y la temperatura a un punto tal que se puede condensar por medios condensantes normales (Aire o agua). A través de las líneas de descarga de gas caliente, fluye el gas refrigerante a alta presión y temperatura hacia la entrada del condensador.

2.12.2.2. El Evaporador

El evaporador es un intercambiador de calor del tipo casco y tubo su función es proporcionar una superficie para transferir calor del líquido a enfriar al refrigerante en condiciones de saturación. Mediante la línea de succión fluye el gas refrigerante como vapor a baja presión proveniente del evaporador a la succión del compresor es el componente del sistema de refrigeración donde se efectúa el cambio de fase del refrigerante. Es aquí donde el calor del agua es transferido al refrigerante, el cual se evapora al tiempo de ir absorbiendo el calor.



2.12.2.3. El Condensador

El condensador es el componente del sistema que extrae el calor del refrigerante y lo transfiere al aire o al agua. Esta pérdida de calor provoca que el refrigerante se condense. Su función es proporcionar una superficie de transferencia de calor, a través de la cual pasa el calor del gas refrigerante caliente al medio condensante. Mediante la línea de líquido fluye el refrigerante en estado líquido a alta presión a la válvula termostática de expansión.

2.12.2.4. La Válvula Termostática

La válvula termostática de expansión su finalidad es controlar el suministro apropiado del líquido refrigerante al evaporado, así como reducir la presión del refrigerante de manera que vaporice en el evaporador a la temperatura deseada.

2.12.2.5. Dispositivos y Controles

Para que un enfriador de líquido trabaje en forma automática, es necesario instalarle ciertos dispositivos eléctricos, como son los controles de ciclo.

Los controles que se usan en un enfriador son de acción para temperatura, llamados termostatos, de acción por presión llamados presostatos y de protección de falla eléctrica llamados relevadores. Los principales dispositivos y controles de un "chiller" son:

1. Termostatos.
2. Presostatos de baja presión.
3. Presostato de alta presión.
4. Calefactor de carter.
5. Filtro deshidratador de succión.
6. Filtro deshidratador de líquido.
7. Indicador de líquido o cristal mirilla.

2.12.3. Refrigerante Ecológico

Durante largas décadas del siglo pasado, la industria de la refrigeración recurrió al uso de compuestos CFC ¹⁵ e HCFC ¹⁶ que desde 1974 comenzaron a ser cuestionados por su efecto destructor de la capa de ozono.

Los átomos de cloro en la estratosfera disocian el ozono, formado por tres átomos de oxígeno, dando lugar a compuestos de cloro-oxígeno y oxígeno molecular, los cuales no interfieren con la radiación ultravioleta. Como sustitutos a estos compuestos se empezaron a desarrollar luego los HFC ¹⁷. Uno de los más difundidos es el R-134 A (tetrafluoretano) que se ha usado en reemplazo del R-12 (CFC) y R-22 (HCFC).

Estos nuevos refrigerantes no afectan la capa de ozono, pero tienen un elevado potencial de calentamiento global. Los HFCs tienen potenciales de efecto invernadero superiores en más de mil veces al del anhídrido carbónico, que es el gas de invernadero por excelencia. Sobre este escenario, las investigaciones actuales apuntan a la búsqueda de una nueva generación de refrigerantes denominados “ecológicos”.

2.12.3.1. Requisitos que deben reunir los refrigerantes ecológicos

- No contribuir a la destrucción de la capa de ozono ni al efecto invernadero.
- Tener una buena performance en el ciclo de refrigeración (lo que significa ahorro de energía), bajos costos de manufactura, cortos tiempos de vida atmosférica, y baja inflamabilidad y toxicidad.

Estos compuestos aportan de manera importante no sólo a la preservación ambiental, sino también a la reducción de consumo de energía y a la seguridad, previniendo riesgos de explosión y liberación al ambiente de elementos tóxicos. Cabe indicar que la mayor eficiencia también es un rasgo característico de los refrigerantes ecológicos, lo que aumenta el costo de los equipos que los utilizan.

¹⁵Clorofluorocarbonos

¹⁶Hidroclorofluorocarbonos

¹⁷Hidrofluorocarbonos

2.12.3.2. Refrigerantes ecológicos más usados

1. **Amoníaco(R-717):** Es el más usado, pues no degrada la capa de ozono ni contribuye al efecto invernadero. Tiene alta performance como refrigerante: alta conductividad térmica, que facilita la transferencia de calor. Por su alto calor latente de evaporación (10 veces superior al R-22, por ejemplo), la cantidad de refrigerante necesario en una situación dada es menor, lo que favorece su uso en aplicaciones de gran escala.
2. **R-410 A:** Este compuesto aparece entre las sustancias de mayor presencia en el mercado, sobre todo en el área de aire acondicionado en reemplazo del R-22. Para sustituir este compuesto en una época se utilizó bastante el R-407, pero su inestabilidad generó problemas en la aplicación, así es que hoy se usa muy poco.
3. **Ecofreeze 12:** Este refrigerante se promueve como sustituto directo de los convencionales R-12 y R-134 A, con aplicaciones en refrigeración doméstica, comercial y aire acondicionado de automóviles.
4. **R-600 A (isobutano)** Este es otro producto que tiene ventajas ecológicas considerables y actualmente se usa en equipos de refrigeración doméstica producidos por firmas europeas.

2.12.3.3. Refrigerante R410A

Es un refrigerante de alta seguridad, clasificado por ASHRAE ¹⁸ como A1/A1, es decir, no tóxico y no inflamable aun en caso de fugas. El R410A es amigable con el medio ambiente porque no afecta la capa de ozono. El nuevo refrigerante, a diferencia del R22, cuyo compuesto tiene cloro (HCFC-hidro cloro fluro carbonado), sólo contiene en su composición HFC (hidro fluro carbonado).

Por otra parte, el nuevo gas es más eficiente que el R22, a igual tiempo de uso, consume menos energía y logra el mismo resultado a nivel ambiente, otorgando mayor fiabilidad y un rendimiento superior. La inclusión del R410A supone una conversión importante de la industria, ya que requiere modificaciones en los insumos de los equipos. Por eso se prevé que en un principio los nuevos aires acondicionados tendrán un precio superior a los actuales, variando entre un 6 o 7 % de aumento. Pero a medida que se fabriquen en mayor escala los precios se irán equilibrando.

¹⁸ American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers

En resumen, los principales beneficios del sistema radican en:

- Menor impacto ambiental
- Mejorar la capacidad de los equipos.
- Equipos más eficientes
- Menor consumo de energía
- Es reutilizable
- No es tóxico: este gas no deteriora la capa de ozono, que es lo que nos protege de la radiación ultravioleta, una de las principales causas del cáncer de piel.

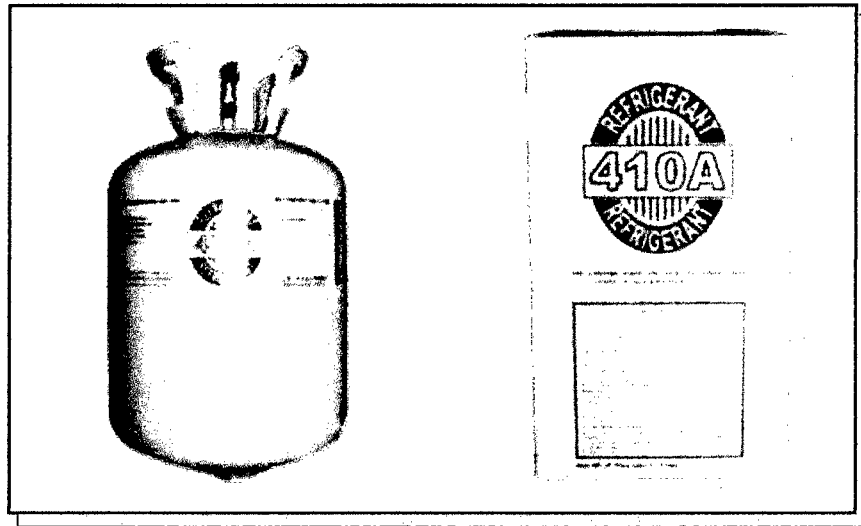


Figura 2.26: Refrigerante Ecológico R410A

CAPÍTULO 3

DISEÑO DEL SISTEMA

3.1. Diseño de Iluminación

Esta sección tiene por finalidad describir los Parámetros y Criterios de Diseño de Iluminación Arquitectónica contemplados para el presente Proyecto, los cuales toman en cuenta tanto el Proyecto así como también los requerimientos y estándares de Iluminación propios de un Edificio con Uso Mixto tanto comercial como de Oficinas.

Para el dimensionamiento de los niveles de Iluminación, tareas y funciones visuales óptimas y eficiencia energética correspondiente se tomaron en cuenta las siguientes Normas y Estándares internacionales para la futura Certificación LEED con que contará esta Edificación los cuales están relacionados con Sistemas de Iluminación eficientes:

- **DIN 5035:** Iluminación artificial en Espacios interiores, que clasifica las actividades visuales y su correspondiente Nivel de Iluminación según alcance y detalle de elementos en el Espacio de Trabajo.
- **ASHRAE 90.1-2007:** Relacionados tanto con la eficiencia lumínica lm/watt y energéticos watt/m^2 , según los Mandatory provisions de la Certificación LEED 3.0, los cuales plantean los máximos parámetros energéticos permitidos así como también los requerimientos de control de Iluminación para los Espacios tanto interiores como exteriores.
- **Nch 2677-2002:** Eficiencia energética en Sistemas de Alumbrado para Edificios no residenciales. Esta norma establece los Niveles de Eficiencia energética en términos de Densidad de potencia eléctrica para Alumbrado (DPEA) que deben cumplir los sistemas de Alumbrado para uso general de Edificios Nuevos no residenciales y ampliaciones de los ya existentes con el propósito de que sean proyectados y construidos haciendo un Uso eficiente de la Energía eléctrica en estas Instalaciones, mediante la optimización de diseños y la utilización de Equipos y tecnologías que incrementen la eficiencia energética sin menoscabo de los niveles de iluminancia requeridos.

3.1.1. Sobre los Sistemas Lumínicos Proyectados

De acuerdo a la tarea visual y tipo de Espacio sobre el cual se definen los diferentes niveles de iluminación (luxes ¹) en el edificio, básicamente lo clasificamos en 3 tipos:

1. ILUMINACION FUNCIONAL INTERIORES Y EXTERIORES. Con niveles de Iluminación según normas, mediante sistemas de iluminación que entregan luz general en el espacio y cuya función es la de asegurar un confort visual ² mínimo exigido por norma.
2. ILUMINACION COMPLEMENTARIA. Con niveles de Iluminación que tienen relación con actividades extemporáneas y eventos puntuales que forman parte del quehacer y vida universitaria.
3. ILUMINACION ARQUITECTONICA EXTERIOR. Con niveles de Iluminación optimizados en Fachadas y destaque de algunos elementos arquitectónicos en los Espacios comerciales (Caídas de agua, Muros verdes y Jardines) que aportan una Percepción del Conjunto Arquitectónico del presente Edificio.

Todos estos Sistemas de Iluminación se plantean con diferentes usos horarios y sus grupos y escenas de luz fueron dimensionados a través de una Proposición de encendidos que formarán parte del Proyecto eléctrico final y cuyo objetivo es entregar un uso flexible de la Iluminación según sean las diferentes actividades que se producen en cada uno de los Espacios interiores y exteriores, los cuales se controlarán con un sistema de control compuesto tanto por sensores de presencia, movimiento y relojes horarios según el tipo y uso de los recintos públicos y comunes.

3.1.2. Diseño de Iluminación de Áreas Exteriores

Las Áreas de circulación presentan unos niveles de Iluminación que se han dimensionado según la posición, densidad de ocupación y actividades a relacionarse en ellas, y oscilan en un rango desde los 50 luxes a 250 luxes según sean su ubicación dentro del Proyecto.

¹Unidad para medir la intensidad de iluminación, equivale a un lumen por metro cuadrado, la relación con respecto al watt es: 1 watt= 683 lux.m²

²Estado generado por la armonía o equilibrio de una elevada cantidad de variables como son la naturaleza, estabilidad y cantidad de luz, y todo ello en relación con las exigencias visuales de las tareas y en el contexto de los factores personales.

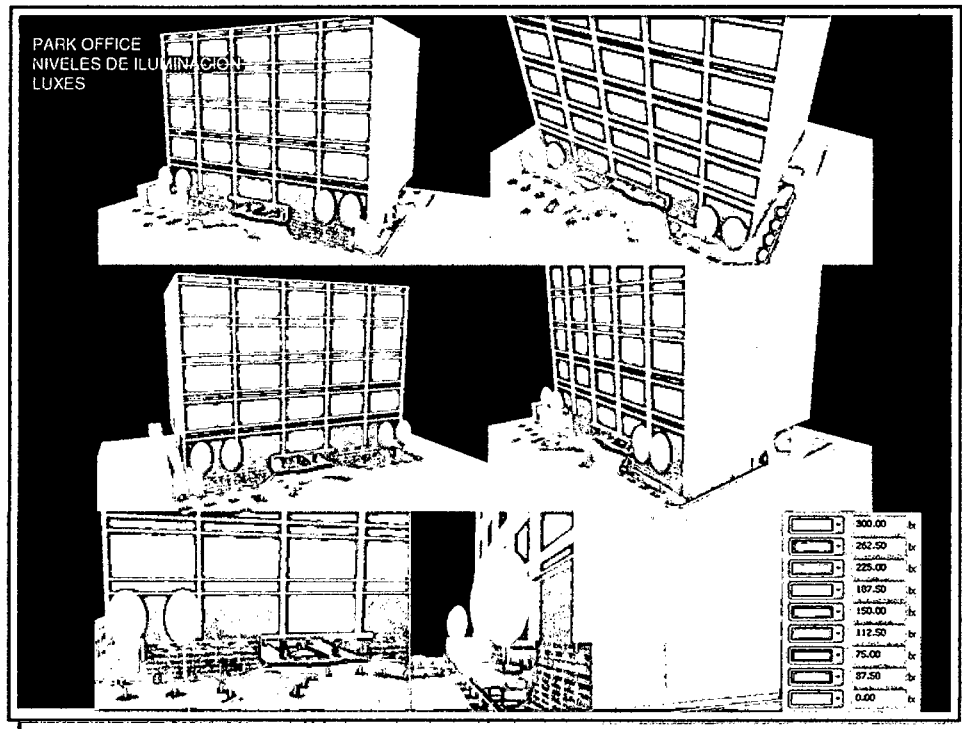


Figura 3.1: Niveles de Iluminación Exterior.

Así, para el Ingreso principal al Centro Comercial se dimensiona un Sistema de Iluminación combinado entre Iluminación general funcional instalados en los Falsos techos compuestos por Bollard ³ o iluminación arquitectónica con emisión de iluminación hacia los pavimentos y frente de los Locales comerciales, dichas luminarias solo emiten iluminación en ángulos que oscilan entre 0° - 45° ubicadas en los aleros de Fachada , como también una Iluminación complementaria de Iluminación focalizada hacia los pavimentos ubicadas bajo las Barandas iluminando a través de los vidrios que la constituyen.

Toda la iluminación exterior contará con un sistema de control automático ⁴ que apague la iluminación artificial cuando haya suficiente luz natural disponible o cuando no se necesite la iluminación exterior durante la noche, esto en base a control horario programable inteligente combinado con fotoceldas respectivas.

³Poste vertical corto

⁴Comandado y Monitoreado desde el primer sótano a través de un ordenador con SCADA - Supervisory Control and Data Acquisition

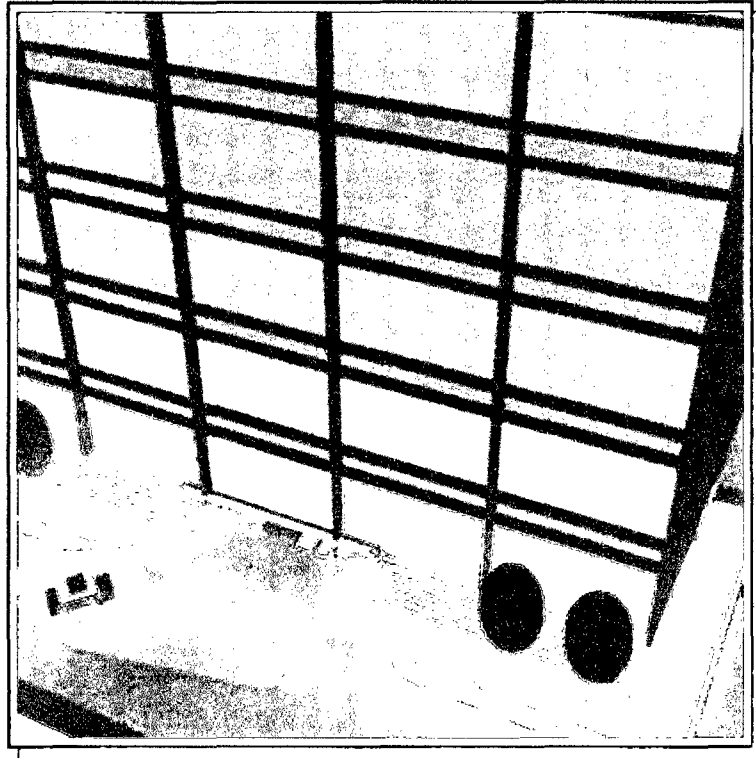


Figura 3.2: Iluminación Exterior.

3.1.3. Diseño de Iluminación de Áreas Interiores

De acuerdo al estudio realizado en las áreas interiores del edificio y en base a los planos se describe a continuación los Sistemas de Iluminación que componen los espacios interiores:

3.1.3.1. HALL DE INGRESO OFICINAS

Sistema de iluminación en base a iluminación general fluorescente de alta eficiencia y luminarias led de acentuación, agrupadas en escenas de acuerdo a horarios de funcionamiento de oficinas.

a) Tipo de equipos

- L02: Luminaria modular led 2x10w/830
- L03: Luminaria empotrada TL5 1x28w/830

b) Tipo de equipo y de ballast

- Fuente led directo a red 220v
- Ballast electrónico HF multivoltaje

3.1.3.2. CIRCULACIONES- AREAS COMUNES PISOS OFICINAS

Sistema de iluminación en base a iluminación general fluorescente de alta eficiencia y luminarias led de acentuación, agrupadas en escenas de acuerdo a horarios de funcionamiento de oficinas.

a) Tipo de equipos

- L03: Luminaria empotrada TL5 1x28w/830
- L04: Luminaria modular led 18w/830
- L08: Luminaria modular led 15w/830
- L20: Luminaria TL5 14w/830
- LZ03: Luminaria TL5 2x28W/830

b) Tipo de equipo y de ballast

- Fuente led directo a red 220v
- Ballast electrónico HF multivoltaje

c) Control de tipo: Programador horario inteligente, con horarios según funcionamiento L-V de oficina y post actividad laborales se apagará los circuitos al 50 %, o los necesarios que aseguren el nivel mínimo de iluminación necesaria para vigilancia y seguridad, además cuenta con pulsador para forzar encendido y apagado.

3.1.3.3. SALAS SUM PARA USO DE OFICINAS

Sistema de iluminación en base a iluminación general fluorescente de alta eficiencia y luminarias led de acentuación regulables o dimerizables, agrupados en escenas de acuerdo a diferentes actividades a realizarse en su interior.



a) Tipo de equipos

- L02: Luminaria modular led 2x10w/830 dimerizables
- LZ01: Luminaria TL5 1x28W/830 dimerizables

b) Tipo de equipo y de ballast

- Fuente led 12v transformador electrónico remoto
- Ballast electrónico HF multivoltaje protocolo DALI

3.1.3.4. AREAS ADMINISTRATIVAS Y CAFETERIA

Sistema de iluminación en base a iluminación general fluorescente de alta eficiencia y luminarias led agrupados en escenas de acuerdo a diferentes actividades a realizarse en su interior.

a) Tipo de equipos

- L11: Luminaria 7w/830 220v
- L16: Luminaria tubo TL5 1x28W/830 suspendidas
- L23: Luminaria tubo TL5 28w adosada
- L06: Luminaria tubo TL5 1x28W/830 empotrada
- L09: Luminaria fluorescente compacta 2x26w

b) Tipo de equipo y de ballast

- Fuente led directo a red 220v
- Ballast electrónico HF multivoltaje

c) Control de tipo : Programador horario inteligente , con horarios según sistema de control on/off en función de sensores de presencia para el encendido o apagado de las luminarias así como del aire acondicionado si es que no hay personas por más de 30 minutos, además cuenta con pulsador para forzar encendido y apagado.

3.1.3.5. SOTANOS Y AREAS TECNICAS

Sistema de iluminación en base a iluminación general fluorescente agrupados en escenas de acuerdo a diferentes actividades a realizarse en su interior.

a) Tipo de equipos

- L14: Luminaria TL5 2x28W
- LS04: Luminaria braquete ahorradora 26w

b) Tipo de equipo y de ballast

- Ballast electrónico HF multivoltaje

c) Control de tipo: Sensores de movimiento en montaje en techo 360°, retardo a la desconexión de 10seg a 30 minutos, umbral de luminosidad de 10 a 1000 Luxes, reconocimiento de día y de noche, retardo y ajuste de luminosidad, combinado con programador horario inteligente y además cuenta con pulsador para forzar encendido y apagado.**3.1.4. Resumen de los sistemas de control de Iluminación**

La Iluminación diseñada para el presente Proyecto cumple con todos los requisitos detallados en el Mandatory de Iluminación, está compuesta por sistemas lumínicos en base a fuentes de luz y lámparas de alto rendimiento lm/watts, desde tubos fluorescentes TL5 hasta fuentes led en formatos tipo lámpara y placas led.

Asimismo las recomendaciones entregadas para el sistema de control incluyen incorporar equipamiento desde Sensores de movimiento, control horario programable inteligente, fotoceldas, sensor crepuscular y asimismo pulsadores que permitan el uso manual de los presentes sistemas.

El equipamiento total se detalla en el Metraje de Lámparas y Luminarias del presente Capítulo.

3.1.5. Diseño Lumínico basadas en los Estándares de Iluminación

El siguiente cuadro es un resumen detallado del Diseño Lumínico Basado en Estándares de Iluminación

ID Espacio	Tipo de Iluminación	Diseño de Iluminación (Potencia de Iluminación)	ASHRAE 90.1 2004 el espacio límite de LPD (watts/m ²)	Otros criterios de diseño de iluminación y consideraciones
Hall Ingreso Oficinas	General ambiental y acentuación	250 luxes	3.7 w/m ²	Sistemas de luz a agruparse por tipología de lámparas y según horarios funcionamiento
Hall ascensores	General ambiental	120 luxes	4 w/m ²	Control horario y sensores
Salas SUM		250-500 luxes	8 w/m ²	Sistema de control automatizado con escenas de luz preprogramadas
Cafetería	General ambiental + acentuación	200 luxes	5 w/m ²	Control horario mas sensores
Administración	General ambiental fluorescente	500 luxes	8 w/m ²	
Sótanos	General fluorescente	100 luxes	3 w/m ²	Sensores de movimiento combinados con control horario y pulsadores

Tabla 3.1: Diseño Lumínico Basado en Estandares de Iluminación

3.1.6. Resumen de las características principales del presente Diseño Lumínico por tipo de Parámetro

a) Respecto a las Fuentes de Luz:

1. Son fuentes de alto rendimiento lumínico versus su consumo energético. 70-85 lm/watt
2. Son fuentes de vida útil prolongada entre 10.000 y 25.000 horas
3. Son fuentes con excelente reproducción cromática sobre 80
4. Son fuentes de reposición común en el mercado
5. Son fuentes de mínima mantención

b) Respecto a prestaciones lumínicas de Luminarias:

1. Control óptico eficiente, emisión de luz en ángulos menor de 45°.
2. Rendimiento lumínico por sobre 70

3. Control deslumbramiento con ópticas out off.
4. Sistema de montaje y desmontaje para recambio lámparas simple y seguro.
5. Valor mercado versus prestaciones que entrega.
6. Diseño que se integra a arquitectura.
7. Grado de hermeticidad según su ubicación.
8. Fotometría y distribución luminosa.

c) Respecto al Diseño lumínico

1. Diseño lumínico atemporal e integrado a la arquitectura
2. Combinación armónica y eficiente de efectos de luz versus niveles lumínicos según normas y estándares.
3. Integración de iluminación natural mediante sistemas de control según horario y funciones visuales.
4. Criterios de luz en base a elementos luminosos lineales.
5. Elección de elementos y luminarias.

3.1.7. Elección de Luminarias y Lámparas según ID Espacio

ID Espacio	Ítem de Iluminación
Hall Ingreso Oficinas	- L02: Luminaria modular led 2x10w/830 - L03: Luminaria empotrada TL5 1x28w/830
Hall ascensores Total Pisos	- L08 : Luminaria modular led 15w/830 - L20 : Luminaria TL5 14w/830 - LZ03 : Luminaria TL5 2x28W/830 - L22 : Cinta led perimetral 15w/ml
Salas SUM	- L02: Luminaria modular led 2x10w/830 - LZ01 : Luminaria TL5 1x28W/830 dimerizables
Cafetería y administración	- L11 : Luminaria 7w/830 220v - L16 : Luminaria tubo TL5 1x28W/830 suspendidas - L23 : Luminaria tubo TL5 28w adosada - L06 : Luminaria tubo TL5 1x28W/830 empotrada - L09 : Luminaria fluorescentes compacta 2x26w
Sótanos	- L14 : Luminaria TL5 2x28W - LS04 : Luminaria braquete ahorradora 26w - LS05 : Luminaria con Lámpara de Inducción 85w

Tabla 3.2: Elección de Luminarias y Lámparas

3.1.8. Generalidades sobre las especificaciones Técnicas de Luminarias y Lámparas

Las Especificaciones técnicas generales de todos los componentes de los Sistemas lumínicos proyectados cumplen principalmente con los siguientes requisitos:

SOBRE LAMPARAS:

- Lámparas con alto rendimiento luminoso : Según las características de uso y mantenimiento de este nuevo Edificio, se dio prioridad en definir y especificar Fuentes de luz cuya eficacia y flujo luminoso aseguren una duración en de los Sistemas lumínicos proyectados con la menor mantención posible, así el presente Proyecto presenta una selección de Lámparas y Fuentes luminosas de última tecnología pero con factibilidad de conseguirse en el presente Mercado , y asimismo Fuentes luminosas eficientes y de muy bajo consumo con propuestas de uso y escenas de luz que permitirán el uso óptimo y flexibles de todos los Sistemas de luz diseñados,
- Las Fuentes de luz seleccionadas y especificadas son de las siguientes Familias de Lámparas:
 - Fluorescentes tubulares T5-16 mm de diámetro de alto flujo luminoso versus bajo consumo en las Áreas y casi todos los recintos con uso constante recintos de Atención y Administrativos.
 - Fluorescente compactas ahorradoras, de bajo consumo y entre potencias que van desde los 18w hasta los 32W.
 - Fluorescente compactas tubulares T8-26 mm de diámetro para áreas de servicio principalmente de menor circulación.
 - Lámparas LED en formatos tipo par, para acentuación y tipo de Placa LED para iluminación funcional de ciertos recintos, las potencias elegidas van del rango de los 4w hasta los 32w como máximo.
- Todas las Lámparas seleccionadas presentan una buena reproducción cromática (IRC) sobre 80 %, color de luz tipo blanco cálido 3000°k y 4000°k según el recinto, de alta emisión y eficiencia luminosa de 85 lm/watt para las de mayor exigencia visual y lumínica.

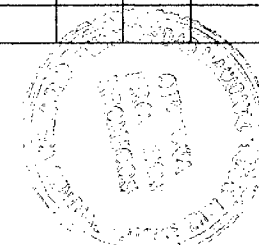
SOBRE LUMINARIAS:

- Luminarias para las Áreas interiores: de tipo de empotrado y para adosar tanto en techos y muros, con rendimiento sobre 70 %, ópticas de aluminio de tipo especular y anodizado, así como difusores de vidrio semi opal para aquellas luminarias con lámpara fluorescente compacta que entregan un mayor Confort visual, característica que es importante en estos recintos que tienen por tener ambientes y espacios de Alto nivel de Confort y presentaciones que requieren Control de deslumbramiento eficiente.
El funcionamiento de las luminarias con lámparas fluorescentes compacta y Tubo fluorescente T8 tipo TLD será con balastos electrónicos HF de alto factor de potencia 0.95, con dispositivo de desconexión en caso de falla de lámpara y sobre tensión.
- Todo el equipamiento eléctrico y/o electrónico para funcionamiento de las luminarias deben de ser fijados a elementos estructurales o si se especifica, incorporados o integrados dentro de las luminarias.
- Las Luminarias con fuentes de luz tipo LED funcionales, serán del tipo Alto rendimiento y luminosidad, y están especificadas para Recintos y espacios que por su funcionamiento, Arquitectura y dimensiones requieren eficiencia, bajo consumo y un cuidado Nivel lumínico, y fueron seleccionadas y especificadas por las garantías de seguridad, certificación y calidad que presentan las Marcas que las fabrican.

3.1.9. Ubicación y Metrado de Luminarias

El Metrado de las Luminarias se realizó de acuerdo a los Planos del Edificio que se Adjuntan en el Capítulo de Anexos. Allí se determina la Ubicación de cada Luminaria según cada Piso.

METRADO DE LUMINARIAS PARK OFFICE PLANO	CANT REAL	CTO BOMBAS	S-8	S-7	S-6	S-5	S-4	S-3	S-2	S-1	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6	P-7	P-8	P-9	P-10	P-11	P-12	AZOTEA
Suministro de luminaria de Emergencia	205,00	3,00	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00	17,00	9,00		6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	2,00
CENTRO DE LUZ	143,00											18,00	18,00	16,00	16,00	17,00	16,00	18,00	12,00	4,00	4,00	4,00	
Suministro de luminaria (L01)	29,00									29,00													
Suministro de luminaria (L02)	24,00									24,00													
Suministro de luminaria (L02A)	27,00								6,00	21,00													
Suministro de luminaria (L03)	86,00								32,00	54,00													
Suministro de luminaria (L04)	92,00								20,00	72,00													
Suministro de luminaria (L05)	32,00								24,00	8,00													
Suministro de luminaria (L06)	43,00								11,00	10,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	
Suministro de luminaria (L07)	30,00								8,00	11,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
Suministro de luminaria (L08)	58,00								6,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	6,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	
Suministro de luminaria (L09)	72,00							16,00	27,00	18,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
Suministro de luminaria (L10)	10,00									10,00													
Suministro de luminaria (L11)	13,00								3,00	10,00													
Suministro de luminaria (L12)	22,00								14,00	8,00													
Suministro de luminaria (L13)	34,00																					34,00	
Suministro de luminaria (L14)	663,00	12,00	6,00	103	103	104	104	104	7,00	7,00	14,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	22,00
Suministro de luminaria (L15)	6,00								6,00														
Suministro de luminaria (L16)	16,00								16,00														
Suministro de luminaria (L17)	6,00								6,00														
Suministro de luminaria (L18)	21,00								21,00														
Suministro de luminaria (L19)	7,00								7,00														



Suministro de luminaria (L20)	110,00												10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	
Suministro de luminaria (L21)	8,00										8,00												
Suministro de luminaria (L22)	10,00										10,00												
Suministro de luminaria (L23)	20,00									20,00													
Suministro de luminaria (L24)	29,00																				29,00		
Suministro de luminaria (L25)	30,00																				30,00		
Suministro de luminaria (L26)	10,00										10,00												
Suministro de luminaria (L27)	2,00									2,00													
Suministro de luminaria (L28)	1,00										1,00												
Suministro de luminaria (L29)	14,00										14,00												
Suministro de luminaria (LS01)	31,00										31,00												
Suministro de luminaria (LS01A)	0,00																						
Suministro de luminaria (LS02)	0,00																						
Suministro de luminaria (LS03)	142,00	6,00	16,00	16,00	16,00	19,00	19,00	19,00	27,00		4,00												
Suministro de luminaria (LS04)	88,00		9,00	9,00	9,00	8,00	8,00	8,00	8,00	12,00	11,00											6,00	
Suministro de luminaria (LS05)	126,00		18,00	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00														
Suministro de luminaria (LZ01)	27,00										27,00												
Suministro de luminaria (LZ03)	33,00											3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	
Suministro de luminaria (LZ04)	12,00									6,00	6,00												
Suministro de luminaria (TMA)	4,00									4,00													

Tabla 3.3: Metrado de Luminarias



3.1.10. Sistema de Puesta a Tierra

Con el objeto de conseguir que no existan diferencias de potencial peligrosas entre el conjunto de las instalaciones eléctricas y la superficie del terreno, permitiendo el paso de corriente de avería o descargas a tierra. De la misma manera todos los elementos metálicos sin tensión de los tableros de distribución, como son los soportes de los interruptores y la estructura metálica en si del tablero, el cual están unidos al pozo de tierra mediante un conductor desnudo

El recorrido de estos conductores son del modo que se puede realizar la inspeccionar fácilmente y se asegurará a la superficie mediante grapas o abrazaderas. El sistema cumplirá íntegramente con las normas vigentes y el Código Eléctrico de Baja Tensión. Se proveerán de una malla a tierra en el último sótano del edificio de viviendas para cada torre de viviendas y para la torre de oficinas.

Los circuitos de puesta a tierra formarán una línea eléctrica continua, en la que no se incluirán en serie masas, ni elementos metálicos, interruptores, seccionadores, etc.

Su trazado será lo más recto posible, evitando curvas de radio pequeño. Las uniones entre elementos de acero y cobre para evitar pares galvánicos, se efectuaran fuera del terreno y utilizando elementos bimetálicos.

3.1.10.1. Sistema de Puesta a Tierra de Transformador y Alternador

El neutro del transformador estará puesto a tierra en el respectivo cuadro general. En éste, la barra de neutro será de igual sección que la de la fase y de la tierra. La barra de neutro estará unida a la de tierra, con la misma sección que ambas, y la barra de tierra estará conectada al sistema de tierras, a través de la barra equipotencial, mediante 2 cables de $1 \times 70 \text{ mm}^2$ Cu de color amarillo o verde.

3.1.10.2. Sistema de Tierra para Baja Tensión

Estará constituido por una malla de pozos de tierra que estarán unidos entre sí, según los planos de una resistencia no mayor a 5 Ohm.

Todos los equipos de fuerza y no estabilizados se conectarán a esta malla de tierra, tales como electro-bombas, ascensores, aire acondicionado, etc.

3.1.10.3. Sistema de Tierra de Cómputo

Se proyecta un sistema de malla de tierra conformado nueve pozos de tierra, según la configuración de los planos, unido a la red general de tierras en dos puntos como mínimo, para dar tierra a la informática y estabilizado, debiendo ser la resistencia de este sistema inferior a 5Ω . Las secciones de cable de tierra no deben ser inferiores a la mitad del cable de mayor sección que protegen, no pudiéndose usar como conductor de tierra ni tubos ni envoltentes metálicos que formen la canalización.

3.1.10.4. Constitución de Pozos a Tierra

Teniendo en cuenta lo indicado por el C.N.E.⁵, se ha dispuesto de un pozo de Puesta a Tierra, para el sistema de fuerza el cual estará ubicado en el último sótano. Estos sistemas deberán registrar un valor de resistencia menor a 25 Ohm.

3.1.10.5. Materiales a usarse en Pozos a Tierra

- **Electrodo** El electrodo o jabalina será de cobre de $\frac{3}{4}$ de pulgada de diámetro por 2.50 m de longitud, llevará sus respectivos conectores para ser enlazados con los cables de tierra. Para la instalación del electrodo se excavará un hoyo de 1 m de diámetro por 3.0 m de profundidad, que luego será rellenado con tierra de tipo vegetal, adicionalmente se tratará éste pozo con dos dosis de sal y bentonita o con agregados tipo thor gel o similar, de no llegarse a la resistencia requerida se tratará el pozo hasta conseguir el valor requerido.
- **Sales Inorgánicas**
Deben ser del tipo Thor gel o similar. Deben garantizar una disminución de la Resistencia del pozo de Tierra en por lo menos 50
- **Material de relleno** El relleno de los pozos debe realizarse empleando tierra obtenida de terrenos vegetales o de cultivo con abundante arcilla.

⁵Código Nacional de Electricidad

3.1.10.6. Cálculo del Sistema de Puesta a Tierra

Para el cálculo de la puesta a tierra, se está considerando un sistema que sirva y proteja a los circuitos y equipos de alumbrado, tomacorrientes y fuerza. En principio, el sistema de puesta a tierra estará constituida por un electrodo (o conductor en este caso) de cobre recocido, desnudo, de 7 hilos, trenzado, de 35 mm² e irá también directamente enterrado a una profundidad de 60 cm aproximadamente, dentro de una zanja rellena y compactada con tierra de chacra. Se está considerando la siguiente expresión de H. B. Dwight, específica para el caso de un conductor horizontal enterrado:

$$R1 = \frac{\rho}{4\pi L} \left[\ln\left(\frac{4L}{a}\right) + \ln\left(\frac{4L}{s}\right) - 2 + \left(\frac{s}{2L}\right) - \left(\frac{s}{4L} - 0,5\left(\frac{s}{2L}\right)\right) \right] \quad (3.1)$$

Donde:

R1 = Resistencia del sistema de puesta a tierra, luego de instalado, en ohm

ρ = Resistividad propia del terreno, en ohm-m

L = Longitud del electrodo (conductor de cobre en este caso)/2, en m

a = radio del electrodo o conductor, en m

s = profundidad de enterramiento del electrodo horizontal x2, en m

En la siguiente tabla se dan los valores de resistividad según el tipo de suelo:

TIPO DE TERRENO	RESISTIVIDAD APARENTE (Ohm-metro)
TERRENO VEGETALES	10 - 50
ARCILLAS , LIMOS	20 - 80
TIERRA DE CULTIVO	50 - 100
ARENAS ARCILLOSAS Y GRAVAS	80 - 200
GRAVAS CON ARENA	1000 - 2500

Tabla 3.4: Resistividad segun el Tipo de Suelo

De acuerdo al cuadro, para nuestro caso corresponde la resistividad de 1000 ohm-m (suelo tipo SM). Los cálculos de los sistemas de puesta a tierra de los edificios de departamentos y oficinas se encuentran en el Anexo A.

Detalles de Pozo a Tierra Llevará un pozo para el lado de 22,9 kV y uno para el lado de baja tensión, ambos pozos serán iguales y de las siguientes características:

- Dimensiones: 1,00 m de \varnothing x 3,00 m. de profundidad, adicionalmente se instalará un tercer pozo para el neutro del transformador en 22,9 kV.
- Relleno: Tierra vegetal, sal industrial y bentonita.
- Electrodo: Material : Copperweld. Dimensiones : 5/8" \varnothing (16 mm²) x 2 400 mm.
- Borne conector: Para conductor de cobre tipo NH80 de 70mm² y electrodo. Material : Bronce con tuercas de bronce al Silicio. Tipo : AB
- Conductor de cobre desnudo Sección : 70 mm²

La resistencia de puesta a tierra no será mayor a 25 ohm para el lado de 22,9 kV y de 15 ohm para el lado de baja tensión.

3.2. Diseño Mecánico

En esta sección se indican los estándares y parámetros de Ingeniería, considerados para la realización del proyecto del sistema de aire acondicionado y la ventilación mecánica del Edificio de Oficinas del Centro Empresarial La Molina, así mismo establece las prácticas a seguir en la ejecución e instalación del sistema respectivo.

El proyecto además, considera el cumplimiento de los requerimientos básicos indicados en el Manual de Diseño Leed especialmente en los Sub capítulos:

- EQ Indoor Environmental Quality
- EA Energy and Atmosphere

3.2.1. Generalidades

El presente Proyecto se ha realizado para proveer los diferentes sistemas de Aire Acondicionado de los Locales Comerciales, Oficinas y Ambientes Comunes. Ventilación Mecánica que comprende los sótanos de estacionamiento, la presurización de las escaleras de evacuación y la extracción de aire de los Servicios Higiénicos.



Para el desarrollo del presente Proyecto se ha tenido en cuenta las normas y procedimientos del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), ASHRAE, NFPA, SMACNA, ARI, UL, etc. experiencia local, reuniones de coordinación con los demás especialistas, así como los Planos de Arquitectura.

3.2.2. Normas y Códigos

En la ejecución de los trabajos de instalación deberán observarse las siguientes normas y códigos:

- RNE (Reglamento Nacional de Edificaciones), Norma EM-030, EM-050, A.010 y A.130.
- ASHRAE (American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers).
- SMACNA (Sheet Metal and Air Conditioning Contractors National Association, Inc.).
- ASA (American Standard Association).
- ASTM (American Society for Testing Materials).
- ASME (American Society of Mechanical Engineers).
- NFPA (National Fire Protection Association).

3.2.3. EQ indoor Environmental Quality

Tratamiento de la calidad del aire

3.2.3.1. EQ 1.0 Desempeño Mínimo de Calidad de Aire Interior

La renovación de aire del local se conseguirá por medio de la inyección de aire fresco filtrado por medio de unidades ventiladores ubicados en la azotea a través de los ductos previstos en el diseño arquitectónico, especialmente para este efecto y que se entregará a cada unidad evaporadora en cada nivel. El ratio considerado para la renovación de aire de aproximadamente 15 cfm.⁶ La extracción del aire necesario para compensar el aire fresco insuflado se hará a través de unidades de extracción mecánica de los servicios higiénicos ubicadas en el techo. Toda inyección y/o toma de aire fresco será filtrada no sólo para polvos.

⁶Cubic feet per minute

Al no contar con un análisis de calidad de aire de la zona se está actuando por experiencia para que todas las inyecciones/ingresos de aire deban pasar por un filtrado de aire de las siguientes características:

- Filtro MERV 8
- Los filtros de aire se instalarán en porta filtros

3.2.3.2. EQ 3.1 Plan de Manejo de Calidad de Aire Interior

Durante la Construcción Se deberá desarrollar e implementar un plan de Manejo de Calidad de Aire Interior para las fases de construcción y pre-ocupación del edificio que incluye todo lo siguiente: Durante la etapa de construcción se deberá lograr o exceder las medidas de control establecidas por SMACNA para Edificios Ocupados durante Construcción. Este estándar menciona medidas de control en cinco áreas:

- Protección de equipos y ductos del sistema de climatización y ventilación.
- Control de fuentes contaminantes.
- Aislamiento de las áreas de trabajo.
- Actividades de aseo.
- Programación de tareas.

1. Protección de los sistemas HVAC:

- Idealmente, no usar los sistemas HVAC instalados de forma permanente durante el proceso de construcción ya que podría causar la contaminación de todo el sistema. Si los manejadoras de aire son utilizados durante la construcción, se debe colocar filtros de aire en las rejillas de cada retorno de aire los cuales deberán tener un Valor Mínimo de Eficiencia (MERV, Minimal Efficiency Reporting Value) de 8 (ASHRAE 52-2) antes de la ocupación del edificio.
- Proteger todos los equipos HVAC del polvo y olores.
- Sellar con lamina plástica de aproximadamente 10 mils de espesor para protección de todas las bocas de entrada de ductos y equipos de Aire Acondicionado y Ventilación instalados durante la construcción que conecten con la zona de obras para evitar la contaminación de los ductos y equipos de los sistemas de Aire Acondicionado y Ventilación.

- Revisar filtraciones en ductos de retorno y manejadores de aire.
 - Queda terminantemente prohibido el uso de las salas de máquinas de los equipos de aire acondicionado para almacenar materiales de construcción.
2. Control de Fuentes Contaminantes:
- Los materiales de acabados de construcción como pinturas, alfombras, compuestos de madera, adhesivos y selladores deberán tener bajos niveles de toxicidad o bajos índices de VOC, (Compuestos Orgánicos Volátiles), prefiriéndose productos libres de solventes o al agua.
 - Recubrir, aislar y ventilar el lugar de almacenamiento de materiales tóxicos.
 - Evitar la contaminación innecesaria por uso de vehículos, maquinarias y herramientas a combustión, y, en lo posible reemplazar el uso herramientas a combustión por herramientas eléctricas.
 - Sellar los contenedores para los desechos de materiales que puedan emitir gases tóxicos o malos olores.
 - Los cubos de pinturas deberán mantenerse cerradas una vez que hayan sido usadas.
3. Aislamiento de las áreas de trabajo:
- Durante la construcción, aislar las áreas de trabajo para prevenir la contaminación de espacios limpios y/o que estén ya habilitados.
 - Dependiendo del clima, ventilar usando 100 % aire exterior para extraer el aire contaminado directamente al exterior durante la instalación de materiales que emiten compuestos orgánicos volátiles.
 - Mantener en presión negativa las áreas de trabajo para permitir una diferencia de presión con las áreas limpias y así contener el polvo y el olor.
 - Proveer de barreras temporales que contengan completamente el área de construcción. Estas pueden ser tabiques provisorios rígidos, lonas, mallas tipo raschel, mangas plásticas, etc.
4. Limpieza y Aseo General de la Obra
- Los materiales porosos con alta absorción que están almacenados o instalados en la obra deben ser protegidos de la exposición a la humedad, lluvia, y otras fuentes de agua. El lugar de almacenamiento debe ser una zona limpia. (Materiales porosos de alta absorción: maderas MDF, paneles de yeso-cartón, telas, alfombras, etc.)

- Otras estrategias utilizadas son el uso de aspiradoras de alta eficiencia con filtros de partículas, aumentar la frecuencia de limpieza y la utilización de agentes humectantes para el polvo.
5. Programación de las secuencias de las actividades contaminantes durante la construcción.
- Se coordinará las actividades de construcción para reducir al mínimo o eliminar los impactos que se pueda crear a las actividades en la parte ocupada del edificio.
 - Las actividades de construcción a lo largo del proyecto serán secuenciadas cuidadosamente para minimizar el impacto sobre la calidad del aire interior. En caso se tengan que llevar a cabo actividades con alto potencial de contaminación se realizarán durante los fines de semana o por las tardes, para así dar tiempo a la ventilación del edificio antes del inicio de nuevos trabajos al día siguiente.
 - Se programará la aplicación de pinturas, barnices, selladores, pegamentos, etc. dentro de un período previo a la instalación de materiales de alta absorción como cielos modulares falsos, aislaciones, alfombras, etc. Para evitar que estos absorban los vapores y gases tóxicos que puedan ser emitidos por la aplicación de los productos mencionados.
6. Fotografiar estrategias implementadas en obra. Deben ser mínimo 18 imágenes tomadas en 3 instancias distintas.

3.2.3.3. EQ 3.2 Plan de Manejo de Calidad de Aire Interior: Antes de la Ocupación

En general, después del término de la construcción y antes de la ocupación, se procederá a dar un mínimo de tres días de ventilación al 100 % de aire exterior, teniendo en cuenta que la humedad relativa del aire exterior no supere el 60. Después de la ventilación descrita, reemplazar los filtros de aire MERV 8, por filtros nuevos de la misma eficiencia y continuará ventilando al máximo con aire exterior (puede ser durante la ocupación), por un período de no menos de 30 días utilizando el 100 % de aire exterior o, si los ocupantes se encuentren presentes, emplear el máximo porcentaje de aire exterior que sea coherente con el logro de confort térmico y control de la humedad relativa. La inyección debe realizarse considerando la instalación del paquete de filtros indicado anteriormente. Se proveerá de filtros de eficiencia MERV 8 nuevos al entregar los equipos funcionando.

3.2.3.4. EQ 7.1 Cumplimiento del Confort Térmico

Las condiciones de diseño de temperaturas y humedad de los ambientes climatizados se ajustan con la Norma ASHRAE 55. Esto incluye, el dimensionamiento de difusores y rejillas tanto de suministro como de retorno de aire a velocidades adecuadas.

El sistema de climatización mantendrá condiciones de $24^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ y humedad relativa no controlada de $50\% \text{HR} \pm 5\%$, valores que se encuentran dentro de lo indicado por ASHRAE 55 cumpliéndose así con el requisito LEED EQ7.1 THERMAL COMFORT COMPLIANCE

3.2.3.5. EQ 7.2 Monitoreo del Confort Térmico

La estrategia para garantizar el cumplimiento de los criterios de confort consisten en un sistema de control para cada una de las unidades de climatización se describe en el Sistema de Automatización (BMS) lo cual incluye manejo de alarmas y control de temperatura del ambiente. El arranque de los chillers y torres de enfriamiento será en forma secuencial de modo de evitar coincidencias en los pico arranque de los motores eléctricos. El arranque deberá ser 45 minutos aproximadamente antes del inicio de funcionamiento del edificio para tener las condiciones de confort adecuadas al momento del ingreso del mismo. El Sistema deberá ser susceptible de modificar este tiempo, así como los horarios de arranque/parada del sistema, por el usuario. El control de temperatura en el interior del edificio se efectuará a través de los Termostatos ubicados en las áreas a acondicionar, los cuales accionarán las respectivas cajas de volumen variable.

3.2.4. EA Energy and Atmosphere**3.2.4.1. EA 2.0 Desempeño Energético Mínimo**

Criterio de Zonificación y Sistemas Propios El edificio cuenta con dos niveles de locales comerciales y usos comunes (sótano 1 y piso 1) y once niveles destinado para oficinas, construida de concreto y tabiquería de mampostería o de drywall. El criterio de zonificación ha sido la sectorización de acuerdo a los espacios destinados para las futuras oficinas, de tal manera que cuenten cada una de ellas con un ducto vertical a partir de la azotea hasta el primer piso, por donde se inyectará el aire fresco y también aprovechar este ducto para instalar las montantes de agua helada.

3.2.4.2. EA 3.0 Reducción de CFC en Equipamiento HVAC&R

A manera de cumplir con el pre requisito LEED EA 3.0 del capítulo Energía y Atmósfera, ningún equipo del sistema de climatización suministrado e instalado en este edificio, no utilizará refrigerantes con contenido CFC, incluido el R22, empleando en su lugar sólo refrigerantes ecológicos como el R410a, R134a y/o R407c lo cual incluye todos los equipos de climatización en sus diversos tipos y tamaños. Los equipos de climatización suministrados vendrán de fábrica preparados para trabajar con los refrigerantes ecológicos antes mencionados.

3.2.4.3. EA 1.3 Optimización de desempeño Energético HVAC

Todos los equipos de climatización del presente proyecto de climatización cumplen y/o exceden las eficiencias mínimas y consumos de energía dispuestos en el standard ASHRAE 90.1 -2004.

3.2.5. Descripción del Sistema**3.2.5.1. Aire Acondicionado**

La administración del edificio se encargará en proporcionar el caudal de agua requerida para cada local comercial y/o oficina, mientras que abastecerá de aire acondicionado para las oficinas administrativas, ambientes de usos públicos y las áreas comunes. El sistema consiste en empleo de unidades manejadoras de volumen variable para cada Oficina o local comercial, las que se ubicarán en cuartos de máquinas del respectivo ambiente a acondicionar previsto en el diseño arquitectónico y que cada propietario o arrendatario se encargue en su instalación y diseño de distribución de aire interior. La planta de enfriamiento de agua estará conformada por 02 Unidades Enfriadoras de Agua (Chillers), con condensadores enfriados por agua de 500 tons de refrigeración c/u. Compresores tipo centrífugo con refrigerante ecológico.

El sistema de agua helada propuesto es de volumen variable con retorno directo y contará con 04 electrobombas en el sistema primario, 04 electrobombas en el sistema secundario, 03 electrobombas en el sistema de condensado (encontrándose una de ellas en cada sistema, en estado de Stand By); así mismo deberán usarse válvulas de 02 vias para las manejadoras de aire.



Las unidades evaporadoras deben manejar el aire en forma de volumen variable comandadas por un sensor diferencial de presión y su respectivo variador de frecuencia. Las 02 torres de enfriamiento correspondiente a sus respectivos chillers, se ubicarán en la azotea del edificio. Cabe mencionar que las referidas torres deberán contar con losas impermeabilizadas, con un punto de agua para la reposición, sumideros y drenajes respectivos. Además estarán equipadas con medidores del agua de reposición y purga, controladores de conductividad, y alarmas de rebalse, en conformidad con el estándar 189.1-2009 de ANSI/ASHRAE/USGBC/IES. Las torres de enfriamiento estarán equipadas con eliminadores de gota eficientes.

El agua que se descarga desde las torres de enfriamiento para los sistemas del agua enfriada se limitará de conformidad con el método (a) o (b):

- a) Para el agua de reposición que tenga menos de 200 ppm (200 mg/L) de dureza total, expresada en carbonato de calcio, para lograr un mínimo de cinco ciclos de concentración.
- b) Para el agua de reposición que tenga más de 200 ppm (200 mg/L) de dureza total, expresada en carbonato de calcio, para lograr un mínimo de 3,5 ciclos de concentración.

El sistema de agua de condensación contará con equipos de tratamiento químico, los cuáles mantendrán la conductividad del sistema en valores aceptables. El proyecto contempla la recuperación del agua de condensado de las Unidades Manejadoras de Aire, para ser utilizado como parte de la reposición de agua para las Torres de Enfriamiento.

• TORRES DE ENFRIAMIENTO

Cada torre tendrá un motor eléctrico para uso con Variador de Frecuencia, este motor será controlado por 2 sensores de temperatura, uno sumergido en la bandeja de agua y el otro medirá la temperatura del medio ambiente. El sensor sumergido en la bandeja mantendrá la temperatura del agua en 83°F y si el agua incrementa su temperatura este enviara una señal de 4-20mA al variador de frecuencia para que este incremente la velocidad del ventilador a efectos de mantener la temperatura en el set point indicado. El otro sensor que mide la temperatura ambiental es el encargado de apagar el ventilador si la temperatura ambiental es menor a 59°F (15°C).

El tablero de Automatización contará con un controlador de campo para las bombas primarias, secundarias y de condensado; otro controlador de campo para las torres de enfriamiento y un controlador de red que integre los controladores de campo y los chillers; el controlador de red será de protocolo abierto para usarse con Bacnet, lonwork y/o modbus.



Se instalarán sensores de corriente en cada una de las 3 fases de las 4 bombas primarias y de condensado a efectos de confirmar su funcionamiento. En el caso de las bombas secundarias esta confirmación se realiza a través de su variador de frecuencia.

Los serpentines de enfriamiento de las Unidades Manejadoras de Aire UMAs, contarán con válvulas motorizadas modulantes de dos vías instaladas en las tuberías de retorno de agua enfriada de cada equipo. Las mismas trabajarán en secuencia regulando el caudal de agua enfriada que fluye por cada una de los serpentines. Estas válvulas serán accionadas por motores modulantes comandadas por el panel controlador D.D.C., mediante sensores ubicados en el retorno de aire, garantizando la temperatura de inyección de aire de cada zona.

El Sistema de Automatización realizará la siguiente operación de manejo de la planta de agua helada en forma estricta y secuencial:

- **SISTEMA DE ENCENDIDO**

- Encendido de las Manejadoras de Aire en forma secuencial (Áreas Comunes).
- Apertura de las válvulas motorizadas (donde aplique)
- Prender las bombas primarias.
- Prender las bombas de condensado.
- Prender las Torres de Enfriamiento.
- Si la confirmación de flujo de agua es positiva, prender los chillers
- Prender las bombas secundarias.

- **SISTEMA DE APAGADO.**

- Apagar los chillers.
- Apagar las bombas primarias.
- Apagar las Torres de Enfriamiento.
- Apagar las bombas de condensado.
- Cerrar válvulas motorizadas (donde aplique).
- Apagar las bombas secundarias.
- Apagado de las Manejadoras de Aire en forma secuencial (Áreas Comunes).

• MEDICIÓN DEL CONSUMO DE AGUA HELADA

Al ingreso de las tuberías de agua helada para cada Oficina o local Comercial, se instalará Medidores de caudal de agua helada de lectura local y remota, así como sensores de temperatura tanto en la tubería de suministro como de retorno, los cuales permitirán saber qué consumo de agua helada tiene cada local para posteriormente facturar. Es importante indicar que los medidores de caudal tendrán un diámetro igual al de la tubería donde serán instalados.

Finalmente este tablero de control automático contará con una interface programable LCD de acceso rápido que permita manejar el sistema localmente sin una estación central de supervisión, así mismo este Tablero contará con una salida para reportar la información que maneja al sistema de control del edificio.

Para controlar el ingreso de aire fresco se instalarán sensores de diferencial de presión entre cada oficina o local comercial y el exterior para mantener un rango de presión positiva entre 0.08 a 0.12" de c.a., para lo cual se accionarán los dampers de extracción de baños y la toma de aire fresco. A su vez los respectivos extractores de aire de los baños e inyectores de aire fresco contarán con variadores de frecuencia para variar el caudal de aire a extraer e inyectar, respectivamente de acuerdo al requerimiento del edificio.

3.2.5.2. Extracción del Monóxido de Carbono

Se instalarán dos extractores del tipo flujo mixto (centrífugos-axial) en la planta de Cisternas, las que extraerán el aire de los sótanos 7, 6, 5, 4, 3 y 2, a través de la red de ductos subterráneos en el nivel de las Cisternas y los ductos verticales de mampostería que recorren desde el sótano 2 hasta conectarse con la red de ductos subterráneos. La extracción de CO se hará a través de las rejillas de extracción instaladas en los ductos verticales que bajan por varios puntos de los estacionamientos, las rejillas de extracción deberán contar con dámper de regulación de caudal de aire de tal manera que se pueda lograr un buen balance de aire de todo el sistema. Las rejillas estarán ubicadas en la parte inferior de los ductos verticales en cada nivel. El sistema también contempla la instalación de un conjunto de detectores de monóxido de carbono estratégicamente ubicadas en cada nivel de estacionamientos de tal manera que puedan captar correctamente la concentración de CO y las que accionarán a las unidades ventiladoras tan pronto se detecte una concentración excesiva de este gas nocivo. Cada equipo expulsará el aire contaminado, mediante los ductos metálicos, tal como se muestran en los planos para descargar el aire contaminado por lo menos dos metros y medio sobre el nivel de la vereda.



El sistema de extracción diseñado funcionará cuando cualquiera de los sensores de CO detecte la concentración de 50 ppm ⁷de monóxido de carbono por más de 5 minutos. La extracción de aire se mantendrá operativa hasta que el mismo detector emita la orden de abrir el contacto al haber bajado el nivel de CO.

El sistema se complementa con la inyección de aire exterior instalando ventiladores inyectoros con impelente axial, ubicados dos en cada nivel de los sótanos y tomando aire desde el exterior mediante un ducto común e impulsándolo directamente en cada nivel de estacionamientos. Cada unidad inyectora contará con un dámper de gravedad a lado de la descarga (Backdraft Dámper).

3.2.5.3. Presurización de Escaleras

Con el objeto de mantener las vías de evacuación libre de humo, en caso de producirse un incendio en algún nivel del edificio, las escaleras de evacuación se presurizarán mediante un sistema compuesto por una unidad ventiladora ubicado en la azotea que mediante un ducto vertical de mampostería a lo largo de la respectiva escalera proporcionará la inyección múltiple del aire a través de un conjunto de rejillas metálicas de descarga controlado por sensores de presión diferencial. Las rejillas de descarga contarán con su respectivo dámper de regulación de caudal de aire.

Este mecanismo es parte del sistema integral de detección, alarma y control de incendio del edificio. El ventilador se accionará a través de un arrancador magnético, el cual se activará con el ingreso de la señal del sistema central contra-incendio, a través de cualquiera de los detectores de humo ubicados a no más de 1 m. de las puertas de acceso a las respectivas escaleras de escape, contempladas por el especialista en el proyecto de Seguridad. El sistema deberá ser regulado para tener presión positiva que no represente una resistencia excesiva que dificulte la apertura rápida de las puertas de escape de cada uno de los pisos.

La diferencia de presión mínima a mantenerse en la escalera, según la norma NFPA 92A, para evitar el ingreso de humos, es de 0.10 pulgadas de columna de agua. Esta presión positiva será suficiente para evitar que el humo producido por el incendio ingrese a las escaleras de escape a través de las puertas de escape de cada uno de los pisos.

⁷Parts-pers million (Partes por Millón)

La norma NFPA 92A, establece que la fuerza requerida para la apertura de puertas no deberá superar las 30 lb-f. Se instalarán sensores/transmisores de la presión diferencial existente en las escaleras y el exterior. Dichos elementos comandarán al variador de frecuencia del motor del ventilador, regulando su velocidad de rotación, de tal modo que se mantenga la presión estática de 0.10" de columna de agua.

Adicionalmente, se ha previsto la instalación de dámper barométricos, que serán regulados para dejar salir aire cuando la presión estática en la escalera presurizada exceda el valor de 0.10" de columna de agua. Este dámper barométrico constituye un elemento de seguridad que impedirá que (en caso de falla del sistema automático de regulación de la presión) se supere el valor de la presión en ella y se dificulte la apertura de las puertas, así mismo, el dámper servirá de alivio para controlar los cambios bruscos de diferencia de presión cuando estando activado el sistema de presurización se produzca la apertura y cierre de las puertas que dan a la escalera.

El proyecto de seguridad contemplará la instalación de un detector de humo para ducto en la succión o descarga del ventilador, el cual deberá ordenar la parada de éste y producir una alarma, en caso de detectarse humo y de este modo evitar que éste sea inyectado a la escalera de emergencia. Por normas de seguridad, este sistema se alimentará eléctricamente desde dos fuentes de energía independientes de transferencia automática, con cableado eléctrico en ducto, resistente al fuego por 2 horas (cable LSZH)

3.2.6. Metodología de Solución

A efectos de operar adecuadamente la planta de agua helada se considera un sistema de automatización que interactúa con los chillers, Bombas Primarias, Bombas Secundarias, Bombas de Condensado y Torres de Enfriamiento, el sistema de automatización será de protocolo abierto para usarse con Bacnet, Lonwork y/o modbus con el fin de conectarse con el control centralizado del edificio.

- **Filosofía de Funcionamiento del Sistema de Agua Helada**

El sistema de automatización será capaz de hacer lo siguiente:

- Alternar el funcionamiento del chiller líder con el esclavo cada mes, el chiller esclavo entrará en funcionamiento según demanda de enfriamiento.



- El sistema Primario de bombeo de los chillers consta de 04 bombas de agua, una bomba de agua para cada chiller, cada uno de ellas con su respectivo reemplazo que se encontrará en Stand By, El funcionamiento de las bombas de agua primarias irá enlazado con su correspondiente chiller y funcionará siempre y cuando éste entre en operación, si se apaga un chiller también debe apagarse su bomba de agua y se cierra en forma simultánea la válvula mariposa motorizada que se encuentra al ingreso de agua de cada chiller.
- El sistema de automatización debe alternar las bombas de tal manera que cada una de las bombas primarias de agua debe cumplir la función de Stand By por un periodo de un mes.
- El sistema Secundario de bombeo consta de 04 bombas de agua, dos de ellas abastecerán a la red, contando cada uno de ellas con su reemplazo que se encontrará en standby.
- El sistema de automatización debe alternar las bombas de tal manera que cada una de las bombas secundarias de agua debe cumplir la función de Stand By por un periodo de un mes.
- El sistema de bombeo de Condensado de los chillers consta de 03 bombas de agua, una bomba de agua para cada Chiller y su correspondiente Torre de Enfriamiento y la tercera en StandBy. La conexión de estos tres elementos irán enlazados (Chillers, Bombas de agua del sistema de condensado y Torres de Enfriamiento), de tal manera que si se apaga un chiller se apaga su correspondiente bomba de agua, se cierra en forma simultánea la válvula mariposa motorizada que se encuentra al ingreso de agua de cada chiller y se apaga también la correspondiente Torre de Enfriamiento.
- El sistema de automatización alternará las bombas de agua de tal manera que cada una de ellas debe cumplir la función de Stand By por un periodo de un mes.
- Las bombas de agua que se encuentran en StandBy de cada uno de los 3 sistemas (primario, secundario y condensado) se lanzaran automáticamente en caso de falla de una de las bombas que están en operación, efectuando las correspondientes aperturas y cierres de las válvulas.

3.2.7. Selección de Equipos

3.2.7.1. Sistema de Aire Acondicionado

• CHILLER

Enfriadores de Agua (Chillers) con condensadores enfriados por agua, contando con dos circuitos independientes de enfriamiento, cada uno con compresor del tipo centrífugo y con carga completa de aceite y gas refrigerante ecológico.

Todos los equipos seleccionados tienen su construcción y capacidad certificada de acuerdo a normas técnicas internacionales como ARI, ASHRAE, ASME, NEMA. y UL. Y Trabajarán con tensión eléctrica de características: 380V/ 3 f. /60Hz.

El Enfriador de agua (Chiller), cumple con los siguientes estándares y códigos:

- ARI 550 / 590 estándar para enfriadores de agua que utilizan el ciclo de refrigeración por compresión de vapor
- ARI 370 Standard para el nivel de ruido en equipos de aire acondicionado
- ANSI / ASHRAE Standard 15, código de seguridad para refrigeración Mecánica.
- ASHRAE 34.- Designación y clasificación de refrigerantes
- ANSI / NFPA Standard 70.- Código nacional de Electricidad (USA) NEC
- ASME. - Código para recipientes a presión.
- ASTM A48.- Acero
- OSHA.- Código de salud y ocupación.
- ISO 9002
- Conformidad en la fabricación de Underwriters Laboratories (UL)

El chiller debe ser completamente fabricado, ensamblado en fabrica, y es diseñado, seleccionado, y construido usando refrigerante 100 % ecológico.

El enfriador estará certificado por ARI. Incluirá, el evaporador, condensador, compresor con el arrancador del tipo variador de velocidad, motor, sistema de lubricación, control y todos los accesorios necesarios. La carga Inicial de aceite y refrigerante será suministrada inicialmente.

La capacidad de cada chiller serán de 500TR de refrigeración como mínimo, trabajando con una temperaturas de entrada y salida de agua de 54°F y 44°F respectivamente y unas temperaturas de 85°F y 95°F en el lado del condensador; y deberá trabajar con un caudal de agua de 1,200 gpm en el evaporador y 1,500 gpm en el lado del condensador. Tendrá un coeficiente de performance (COP) máximo de 6.0 (COP=3.516/Kw/ton) al 100 % de carga.

- **Compresores y Motores** Los compresores serán del tipo centrífugo, los cuales serán impulsados por motores abiertos. El motor deberá ser del tipo TEFC, motor de inducción del tipo de jaula de ardilla, que ha de operar hasta una velocidad de 3,570rpm.
- **Control de capacidad** El control de capacidad será a través del variador de velocidad, lo cual permitirá una modulación continua desde 100 % al 15 % de capacidad.
- **Evaporador** El evaporador es fabricado de planchas de acero al carbono, será del tipo inundado, pudiendo ser de 2 o 3 pasos; los tubos del evaporador son fabricados en cobre sin costura y las cajas en la cabecera del tipo removibles para que permitan una fácil actividad de limpieza o mantenimiento. El evaporador debe ser diseñado, probado y tendrá el sello que cumple con las normas ASME para recipientes a presión, sección VIII-División I.
- **Condensador** El condensador deberá ser fabricado de planchas de acero al carbono, deberá ser del tipo inundado, pudiendo ser de 2 o 3 pasos; los tubos del evaporador serán fabricados en cobre sin costura y las cajas en la cabecera del tipo removibles que permitan una fácil actividad de limpieza o mantenimiento. El condensador deberá ser diseñado, probado y vendrá con el sello de cumplir con las normas ASME para recipientes a presión, sección VIII- División I.
- **Arrancador** El arrancador de los chillers será del tipo variador de velocidad (VSD), El Variador de velocidad incluye:
 - * Llave térmica de protección
 - * Protección de voltaje tierra
 - * Protección de sobre corriente
 - * Protección por pérdida de fase
 - * Protección por inversión de fase

- **Centro de control grafico** La unidad estará controlada por un centro de control gráfico con microprocesador con capacidades “stand alone”. El centro de control permite el monitoreo y control de los sensores, relays, actuadores y switches de la unidad.

El display del centro de control es una pantalla del tipo cristal líquido (LCD) rodeada de “softkeys” que son definidas de acuerdo a la pantalla y contexto en el que se encuentre el panel. El centro de control estará montado en un gabinete cerrado y tiene un teclado numérico como interfaz de entrada de datos. La pantalla del centro de control permite la representación de toda la información de cada uno de los componentes de manera gráfica y detallada. El panel contará con protección inteligente para evitar la congelación del agua denominada “Smart Freeze Point Protection” permitiendo operar el chiller hasta temperaturas de 36°F sin que se produzcan falsas alarmas.

El panel también provee la siguiente información:

1. Información de operación incluyendo:

- * Horas de operación.
- * Temperatura de entrada y salida del agua fría.
- * Temperatura de entrada y salida del agua de condensación.
- * Temperatura de saturación de evaporación y condensación.
- * Porcentaje de corriente del motor referente a FLA.
- * Temperatura de descarga del compresor.
- * Posición del control de empuje y temperatura del aceite dentro de este compartimento.
- * Número de arranques del compresor.

2. Programación digital de “set points” a través del teclado numérico universal
Incluyendo:

- * Temperatura de agua fría.
- * Límite de corriente.
- * Reset remoto de los rangos de temperaturas.
- * Horario para parada y arranque de las bombas, el enfriador y la torre de Enfriamiento.

3. Mensajes de estado indicando:

- * Sistema listo para el arranque.
- * Sistema en operación.
- * Sistema preparado para detenerse.
- * Apagado por seguridad, necesario re-arranque manual.
- * Parada por recicló - arranque automático.
- * Arranque bloqueado

4. El texto mostrado en la línea de estado y los detalles del sistema son desplegados en colores codificados dependiendo de la severidad de la falla, por ejemplo: rojo para paradas de seguridad, naranja para paradas debido a recicló, amarillo para alarmas y verde para mensajes normales

5. Paradas de emergencia anunciadas a través del display y la línea de estado mostrando detalles del sistema antes de la parada, día, hora, causa de la parada y tipo de arranque necesario.

- * Evaporador - baja presión.
- * Evaporador - transducer or temperature sensor.
- * Condensador - contacto de alta presión abierto.
- * Condensador - presión del transductor fuera de rango.
- * Contacto auxiliar - contactos cerrados.
- * Descarga - alta temperatura.
- * Descarga - baja temperatura.
- * Aceite - alta temperatura.
- * Aceite - baja presión diferencial.
- * Aceite - alta presión diferencial.
- * Aceite - presión del depósito de aceite fuera de rango.
- * Aceite - differential pressure calibration.

6. Paradas por recicló anunciadas a través del display y la línea de estado mostrando detalles del sistema antes de la parada, día, hora, causa de la parada y tipo de arranque necesario:

- * Aceite - baja temperatura.
- * Control panel - falla de potencia.
- * Temperatura salida agua fría - baja temperatura.
- * Agua fría - switch de flujo de agua abierto.



- * Control motor - contactos abiertos.
 - * Panel de control - horario.
 - * Sonda de proximidad - bajo voltaje de suministro.
 - * Aceite - bomba de aceite - contactos abiertos.
7. Acceso protegido para evitar cambios no autorizados a los set-point además de configurar el control local o remoto del enfriador, control de la bomba de aceite y los vanos de pre-rotación. El acceso a la información será por intermedio de un nombre de usuario y una clave.
8. Tendencias de los datos de operación con la habilidad de recoger información en intervalos de tiempo configurable desde un Segundo hasta una hora. El panel puede graficar hasta 6 tendencias simultaneas de parámetros de una lista total de 140 parámetros disponibles sin necesidad de sistemas de monitoreo externos adicionales.
9. Capacidad de interactuar con sistema de monitoreo de edificio permitiendo los siguientes datos:
- * Arranque y parada remota.
 - * Ajuste remoto de la temperatura de salida de agua.
 - * Ajuste remoto del porcentaje de corriente de disparo de la unidad.
 - * Contactos para permitir el arranque remoto.
 - * Contactos de parada de emergencia.
 - * Contactos de parada por reciclo.
 - * Contactos de equipo en operación

CARACTERÍSTICAS DEL CHILLER

Cantidad: 02

Capacidad: 500 TR (44°F/54°F)

Compresores: Centrifugo.

Refrigerante: R-134A - Ecológico

Condensador: Enfriado por Agua

Características Eléctricas: 280Kw. 380V-3F-60Hz

Resortes anti vibratorios : Resortes de 1" de deflexión (de Fabrica).

Tarjeta de comunicación: Modbus.

Certificación: AHRI 550/590.



• BOMBAS DE AGUA

Se suministrarán e instalarán las bombas como se muestran en los planos. El diseño de las bombas será con succión en el extremo (End Suction) montada sobre su base metálica (Frame Mounted). Serán 4 bombas primarias (2 en stand by), 4 bombas secundarias (02 en stand by) y tres bombas de condensación (1 en stand by).

La eficiencia de las bombas no deberá ser menor al 75 % con margen de tolerancia máximo de 2 %. Las bombas deberán ser capaces de recibir servicio sin tocar las conexiones de las tuberías (diseño Rear Pullout) para fácil mantenimiento e inspección. La voluta o carcasa de la bomba será de *fierro fundido calidad ASTM48, clase 30* con pedestal de soporte fundido en forma integral (una sola pieza). El impulsor será de bronce fundido calidad ASTM B584, tipo cerrado, balanceado dinámicamente para cumplir con la clasificación G 6.3 de ANSI, fijado con chaveta al eje y asegurado por medio de prisionero.

El eje de la bomba será de acero inoxidable AISI 416, con funda (shaft sleeve) también de acero inoxidable. La bomba tendrá un sello mecánico del tipo cerámico y será de diseño de eje seco, de tal forma que el eje nunca este expuesto al fluido.

Las bridas de las bombas deberán ser de clase 125 según ANSI para 250 F. La carcasa tendrá conexiones para manómetros de 1/4" y deberá tener puertos de ventilación y purga en la parte superior e inferiormente de la voluta. Las bridas de succión y descarga deberán estar alineadas verticalmente, siendo la brida de succión de entrada horizontal y la brida de descarga de salida vertical.

El ensamble de la caja de rodamientos deberá tener rodamientos de bolas de uso industrial, clase L10 (Mínimo tiempo de vida 60,000 horas de funcionamiento).

La bomba, el motor y la base serán ensamblados y alineados en fábrica, la base será de acero estructural o de acero acanalado completamente cerrada en los lados y en los extremos, con miembros seccionados firmemente soldados. La bomba contará con un acople flexible, capaz de absorber la vibración de torsión, se empleará entre la bomba y el motor y estará equipado con un guarda acople. La bomba deberá estar pintada exteriormente en su totalidad con una protección epóxica industrial de 2 a 3 mils de espesor.

El performance de las bombas deberán seguir los procedimientos de pruebas del Hydraulic Institute (HI) y ANSI. El motor eléctrico deberá cumplir con las especificaciones NEMA Premium Efficiency, con cerramiento (enclosure) TEFC, para 1750 rpm.

CARACTERÍSTICAS DE LAS BOMBAS**BOMBAS PRIMARIAS**

El NPSH de las bombas no deberá ser mayor de 20 pies de c.a

Cantidad: 04

Caudal: 1200 GPM

Caída de Presión: 50 Pies c.a.

Potencia Aprox: 25 HP

RPM: 1750

Electricidad: 380V-3F-60Hz - TEFC

BOMBAS SECUNDARIAS

Cantidad: 04

Caudal: 1200 GPM

Caída de Presión: 90.Pies c.a.

Potencia Aprox.: 40 HP

RPM: 1750

Electricidad: 380V-3F-60Hz - TEFC

BOMBAS DE CONDENSADO

Cantidad : 03

Caudal : 1500 GPM

Caída de Presión : 50.Pies c.a.

Potencia Aprox. : 25 HP

RPM : 1750

Electricidad : 380V-3F-60Hz - TEFC.

• TORRES DE ENFRIAMIENTO

Las torres de enfriamiento serán del tipo simple celda, de tiro inducido, descarga hacia arriba, con certificación CTI, según STD-201 y deberán cumplir con los requerimientos mínimos de eficiencia exigidos en el estándar ASHRAE 90.1 - 2010. La construcción de las torres en cuanto a su carcasa y bandejas será de plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV), con estructura metálica de soporte, pernos y tuercas en acero inoxidable 304.

El material de relleno será de PVC, con eliminadores de gotas. La torre de enfriamiento contará con escalera de acceso externa y plataforma de acceso al interior de plancha metálica estriada. El ventilador será del tipo axial, con paletas de aluminio fundido de perfil aerodinámico, de paso variable para regulación en campo. Contará también con guarda en acero inoxidable. El motor será del tipo TEAO, IP55, cooling tower duty, para uso con variador de frecuencia, en 380v3ph/60Hz.

Las torres tendrán fácil acceso al interior, para labores de inspección y limpieza, mediante puertas de acceso en ambos lados de la torre. Llevará una conexión de llenado, rebose y desagüe en el fondo. El recipiente tendrá un nivel de agua tal que evite la aspiración de aire por las bombas en la partida. El recipiente contará con válvula de flotador para el llenado automático y filtro (strainer) en la succión. Las torres deberán contar con un control de capacidad autónomo sobre la base de motor para variador de frecuencia y controles de temperatura proporcionales. Se garantizará la correcta instalación de la torre sobre sus apoyos de concreto o recomendados por fábrica.

El agua del sistema de condensación provendrá de una planta de ablandamiento de agua para las torres de enfriamiento.

Para inhibir la corrosión, crecimiento orgánico y la formación de incrustaciones en el circuito de condensación, se dotará al sistema de una bomba dosificadora de productos químicos de funcionamiento continuo, enclavada con la operación de las bombas de condensación. Cada una para atender al caudal respectivo de un chiller de 500 tons, a una temperatura de bulbo húmedo de 75°F y un rango de 10°F (95/85°F). La armadura, estructura y los paneles de la carcasa serán diseñadas para operación con carga.

Carcasa fabricada de fibra de vidrio con perfiles de acero inoxidable. El instalador de aire acondicionado preverá los dispositivos necesarios para realizar un prendido secuencial de los ventiladores de sus torres de enfriamiento en función a la temperatura de ingreso de agua (control por demanda).

Todo empalme de tuberías con las torres de enfriamiento se realizará mediante Uniones Flexibles para evitar la transmisión de vibraciones.

• TANQUE SEPARADOR DE AIRE

01 Tanque de 16" de diámetro con bridas, incluye filtro colador, para manejar un caudal mínimo de 4,500 gpm.

• UNIDAD MANEJADORA DE AIRE

Unidades acondicionadoras de aire fabricadas para ser instaladas en salas de máquinas, de diseño modular. Construcción de fácil reemplazo de las partes, se harán las pruebas estrictas en fábrica de acuerdo con las normas ASHRAE 90.1.

La cubierta de la manejadora de aire será construida con paneles con paredes simples. Los paneles de pared exterior contruidos de medidas [20] [18][16] de acero galvanizado G90. La manejadora de aire estará completamente aislada de todos los paneles y del marco estructural con espuma inyectado para aislar y sellar a fondo la estructura de la unidad. Las aperturas en los canales estructurales deberán ser cubiertas.

El aislamiento será de 1" en toda la unidad. La aplicación del aislamiento cumplirá con los requerimientos NFPA 90A. Los paneles tendrán una conductividad térmica mínima de R de 12.5 (Hr-Ft²-°F/BTU).

Las Unidades serán construidas de acuerdo a las siguientes Normas, y tendrán los sellos correspondientes:

Fabricación Unidad: ARI 430

Capacidad Certificada Serpentes: ARI 410

Todas las unidades deberán tener paneles de fácil acceso en los módulos de filtrado y módulo de ventilación.

Pre filtro: Lavable de malla de aluminio de 2" de espesor.

Filtros: Standard 52.5, del tipo pliegue con superficie extendida de poliéster-algodón (Pleated Filters), para una eficiencia mínima de 8 MERV.

– Ventiladores

La sección de ventilador tendrá un ventilador de impelente centrífugo del tipo de aletas múltiples inclinadas hacia adelante de doble ancho y doble entrada, balanceado estática y dinámicamente. La unidad tendrá rieles tensores para el motor soportados en la sección de ventiladores, transmisión podrá ser directa o ajustable por poleas y correas en "V", dependiendo de la capacidad de enfriamiento del equipo.

El conjunto del ventilador, motor y soporte, estará montado sobre una base, que garanticen impedir el paso de ruidos y vibraciones a la estructura de la Unidad.

– Motor:

El motor que se suministre en conjunto con cada unidad, será tipo TEFC para 380 V-60Hz-3 ϕ ó 220 V-60Hz-1 ϕ y un máximo de 1750 RPM, cuya potencia será mayor al BHP requerido por el ventilador. Tendrá protección interna por sobre corriente y reset automático.

Todos los motores serán fabricados de acuerdo con los últimos estándares de la Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos NEMA y IEEE con rangos de trabajo continuo al máximo a 40°C de temperatura ambiente hacia arriba y con un factor de servicio de 1.15. Los motores del abanico tendrán ruedas de cojinetes del tipo de NEMA

– Sección Serpentin:

La sección del serpentín de enfriamiento cuya construcción será similar a la sección de ventiladores en cuanto a materiales, calibres y aislamiento interior, tendrá una bandeja de drenaje de tamaño suficiente para recibir el condensado del serpentín y sus distribuidores, estando aislada con aislamiento de 1" del tipo repelente al agua.

El serpentín de enfriamiento debe ser del tipo de tubos de cobre sin costura y aletas de aluminio de las cuales habrá un mínimo de ocho y un máximo de catorce aletas por pulgada de longitud, teniendo el número de hileras necesarias para la carga especificada.

El diseño de todos los serpentines debe tener circuitos con carga para la velocidad especificada de agua dentro del rango de condiciones de certificación ARI.

Los serpentines de agua drenable deben ser diseñados para operar a una presión de trabajo de 250 psig y por encima de 300°F y deben ser probados con un aire comprimido de 325 psig bajo el agua. La circulación debe proveer un libre y completo drenado y ventilación una vez instalada. Todas las conexiones de drenado y ventilación deben extenderse al exterior de la unidad.

Las conexiones eléctricas deberán estar conformes con el C.N.E. Tendrá una caja de borneras debidamente accesible.

Se incluirá como mínimo los siguientes componentes:

- * Válvulas Mariposa (Suministro y Retorno)
- * Filtro tipo Y con malla metálica como elemento filtrante y válvula de drenaje incorporado. (Suministro).

- * Válvula de 2 vías Modulante (Retorno).
- * Circuit Setter.
- * Variador de frecuencia.
- * Medidor de caudal.
- * Conexión de drenaje.
- * Conexión eléctrica completa según el C.N.E. con protección contra sobrecarga.
- * Soportes y colgadores.

• TERMOSTATO Y VALVULA DE DOS VIAS

– Termostatos

Las unidades enfriadoras de aire contarán con termostatos para ducto, Estos termostatos comandarán las respectivas válvulas modulantes de dos vías.

– Válvulas de 02 Vías

Serán del tipo modulante, con bobina de 24V. Las válvulas deben ser seleccionadas por capacidad, pero nunca su diámetro debe ser menor a lo indicado.

• AISLAMIENTO DE LAS TUBERÍAS PARA AGUA HELADA

Todas las tuberías de agua helada serán aisladas térmicamente con mangas de 1" de espuma elastomérica de espesor para las tuberías de agua helada hasta 6" ϕ , o planchas de espuma elastomérica de 1" de espesor para las tuberías mayores a 6" ϕ , de espesor nominal conforme a la tabla; la conductividad térmica de este aislamiento medida a una temperatura de 0°C debe de ser menor o igual a 0.034 W / (m.K.).

DIÁMETRO	ESPESOR DE AISLAMIENTO
hasta 6"	1"
de 6" a 12 "	1 $\frac{1}{4}$ "
Mayor de 12"	1 $\frac{1}{2}$ "

Tabla 3.5: Espesor de Aislamiento en tuberías según Diámetro

El aislamiento deberá ser colocado con pegamento recomendado por el fabricante del aislamiento, o en lugares de difícil acceso con cinta adhesiva recomendado por el fabricante del aislamiento. Todas las tuberías de agua helada, deberán ser revestidas con plancha de acero galvanizado de 1/54" tanto en salas de máquinas como a la intemperie, a fin de protegerlas de impactos mecánicos y radiación solar.

• TUBERIAS Y ACCESORIOS**– Tuberías**

Diámetros hasta 2": Deberá ser ejecutada en tubo de acero al carbono negro sin costura, ASTM-A-53 - grado B, o ASTM-A106 - grado B, schedule 40, extremos con rosca NPT.

Diámetros de 2 1/2" (inclusive) hasta 10": Deberá ser ejecutada en tubo de acero al carbono negro sin costura, ASTM-A-53 - grado B, o ASTM-A106 - grado B, schedule 40, extremos biselados para soldar.

– Codos y curvas de 90° y 45°

Diámetros encima de 2 1/2" (inclusive) hasta 10": Deberá ser ejecutada en tubo de acero al carbono, sin costura, ASTM-A-53 ó ASTM-A-106 (conforme ASTM-A-234), dimensiones de segundo ANSI-B.16.7, radio largo, con extremos biselados para soldar.

– Tees y Tees de Reducción

Diámetros de 1/2" hasta 2" (inclusive): Las roscas de las tuberías y accesorios de acero, deberán ser conformes a las especificadas por "AMERICAN STANDARD TAPER PIPE THREADAS", con cinta de teflón aplicada únicamente a la rosca macho.

– Reducciones

Diámetros de 1/2" hasta 2" (inclusive): Las roscas de las tuberías y accesorios de acero, deberán ser conformes a las especificadas por "AMERICAN STANDARD TAPER PIPE THREADAS", con cinta de teflón aplicada únicamente a la rosca macho.

– Bridas

Diámetros encima de 2 1/2" (inclusive) hasta 10": Deberán ser de acero al carbono, ASTM-A-181, clase 150, tipo sobrepuesto, según ANSI-B.16.5, cara plana o con resalte, de acuerdo a la aplicación.

– Válvulas de Mariposa

Diámetros encima de 2 1/2" (inclusive): Deberán ser de tipo con conexiones bridadas, según ANSI-B.16.5, clase 250, cara plana, cuerpo en fierro fundido modular ASTM-A-534.25.45.12, asiento en EPDM, disco en fierro nodular, vástago y tornillos de fijación de disco en acero inoxidable; para 250 psi, accionamiento por palanca manual, con memoria.

– Manómetros

Deberán ser en caja de acero pintado, ϕ 100 mm, con anillo de metal, de conexión 1/2" NPT, escalas compatibles con la aplicación, escritas en "kgf/cm² y lbs/pulg²".

– Termómetros

Deberán ser en caja de acero pintado, ϕ 100 mm, tipo bimetálico, con asta recta o angular, conexión de 1/2" NPT, con escalas compatibles con la aplicación, escritas en "°C".

– Soldadura

- * Metales de Relleno Los electrodos para soldadura por arco eléctrico obedecerán a la especificación ASTM A-233. Los electrodos y varillas deberán estar siempre libres de herrumbre, aceites, grasa, tinta, tierra, o cualquier otro material que pueda comprometer el resultado de la soldadura.

No se permitirá el uso de soldadura oxiacetileno.

- * Procedimiento de soldadura

– Pruebas

- * La tubería antes de la instalación del aislamiento y aplicación de la pintura deberá ser probada con agua a presión mínima de 1.5 veces depresión de trabajo o 150 psi, la más alta, esto debido a que finalmente es un sistema dinámico con flujos de agua a presión.
- * La presión de la prueba deberá ser aplicable inclusive para las tuberías que trabajan sin presión alguna.
- * No se debe usar para las pruebas hidrostáticas cualquier tipo de agua dañina para a tubería. Sólo agua potable de la red de Sedapal.
- * Antes de completarse el relleno de las tuberías con agua, se deberá hacer una eliminación total del aire del sistema.
- * La subida de presión en el sistema debe ser lenta.
- * La presión de prueba, será mantenida por lo menos por 24 (veinticuatro) horas, más el tiempo durante el cual la tubería deberá ser cuidadosamente examinada para la verificación del escape de líquido.
- * El manómetro de medida de presión deberá ser colocado en un punto más alto del sistema, en caso de que esto no sea posible, se debe acrecentar el valor de presión de prueba y presión de columna hidrostática por encima del manómetro.

- **Pintura** Antes de ser pintadas las tuberías se procederá a arenar la superficie. Se aplicará primero la pintura de base con zincromato. Pintura de acabado será del tipo esmalte sintético.

3.2.7.2. Sistema de Extracción de Monóxido de Carbono

• EXTRACTORES DE AIRE

En el último nivel de los sótanos se instalarán extractores del tipo flujo mixto (centrífugo-axial) cuyo impelente será balanceado estática y dinámicamente en fábrica como un solo conjunto con su eje. El conjunto de equipo, motor y base metálica formará una sola unidad rígida de acero soldado para evitar fugas de aire y tendrá aisladores de movimiento.

• INYECTORES DE AIRE

Los ventiladores a utilizarse en la inyección de aire exterior, serán con impelente axial, balanceado estática y dinámicamente en fábrica como un solo conjunto con su eje. Contará con bastidor de estructura metálica. Contarán con damper de gravedad en el lado de la descarga del aire.

El eje será de acero e irá apoyado en chumaceras con rodamientos de lubricación permanente que estará montado rígidamente en la estructura metálica. Estos rodamientos serán para trabajo pesado, autoalineantes y seleccionados para una duración de 80,000 horas funcionando a la velocidad del rotor especificada. Los ventiladores serán accionados por medio de motor eléctrico a través de fajas y poleas siendo la polea motriz de paso variable; el motor deberá tener base metálica con tensor de fajas y guardafajas.

Cada ventilador se montará sobre estructura metálica que suministrará el Contratista, fijándose en los pases que dejará la obra civil. El conjunto de equipo, motor y base metálica formará una sola unidad rígida y tendrá aisladores anti vibratorios de neoprene. El ventilador deberá contar con certificaciones de funcionamiento y sellos tales como los de AMCA Y UL para performance y sonido. Deberá llevar fijada una placa del fabricante con el número de modelo y un número de serie individual para su identificación en un futuro. El ventilador deberá instalarse sobre una base de concreto armado y contará con amortiguadores anti vibratorios.

• DETECTORES DE MONÓXIDO DE CARBONO

Cumplirán con las funciones de detección y control del monóxido de carbono, así como con la operación automática del sistema de extracción de aire en los sótanos de estacionamiento. Por especificaciones de los fabricantes y de acuerdo a la normativa de Norteamérica, se instalará en posición central en muro o columna, a una altura de 1.52 m. (aproximadamente 5 pies) sobre el piso, dentro de lo que se denomina la "zona de respiración" ("breathingzone") 4 a 6 pies sobre el piso). El detector tendrá un sensor de estado sólido, relays para accionamiento del ventilador y alarma remota con opción de conectarse a un panel de control centralizado. Rango de temperatura de trabajo: -18°C a $+52^{\circ}\text{C}$. Rango de humedad: 10 a 90 % sin condensación. Tensión de trabajo: 24 voltios (0.12 amps). El detector será calibrado para accionar el extractor cuando registre una concentración de 50 ppm de CO por más de 5 minutos.

3.2.7.3. Sistema de Presurización de Escaleras

• VENTILADORES PARA LA INYECCION DE AIRE

Los ventiladores a utilizarse en la presurización de las escaleras de evacuación del edificio, serán con impelente del tipo flujo mixto (centrífugo-axial) cuyo impelente será balanceado estática y dinámicamente en fábrica como un solo conjunto con su eje.

El eje será de acero e irá apoyado en chumaceras con rodamientos que estará montado rígidamente en la estructura metálica con resistencia a la fatiga L10 según las Normas ABMA, en más de 80,000 horas en velocidad máxima de operación, el gabinete debe contar con puertas de acceso para inspección y mantenimiento. Contará con conductos de lubricación y puntos de engrase, de tal manera que no sea necesario ningún tipo de desmontaje para ejecutar estas operaciones de mantenimiento. Los ventiladores serán accionados por medio de motor eléctrico a través de fajas y poleas siendo la polea motriz de paso variable; el motor deberá tener base metálica con tensor de fajas y Protector de la correa de transmisión y rotación de las poleas totalmente cerradas y deben satisfacer las Normas OSHA. Cada ventilador se montará sobre estructura metálica que suministrará el Contratista, fijándose sobre la base de concreto que construirá la obra civil. Los componentes eléctricos deberán contar con la Certificación 705UL y el motor eléctrico será ODP ⁸ y un máximo de 1750 RPM, cuya potencia será mayor al BHP ⁹ requerido por el ventilador.

⁸Open Drip Proof- Prueba de Goteo Abierto

⁹Brake Horsepower- Medida de la potencia de un motor antes de la pérdida de poder causado por el tren de la caja de cambios y la unidad.



Tendrá protección interna por sobre corriente y reset automático. Todos los motores deben ser fabricados de acuerdo con los últimos estándares de la Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos NEMA y IEEE con rangos de trabajo continuo al máximo a 40°C de temperatura ambiente hacia arriba y con un factor de servicio de 1.15.

El arranque será mediante el uso de un variador de frecuencia. Estas unidades contarán con amortiguadores anti vibratorios recomendadas por el fabricante. El ventilador deberá contar con certificaciones de funcionamiento y sellos tales como los de AMCA Y UL para performance y sonido. Deberá llevar fijada una placa del fabricante con el número de modelo y un número de serie individual para su identificación en un futuro. El ventilador deberá instalarse sobre una base de concreto armado y contará con amortiguadores anti vibratorios.

- **VARIADOR DE FRECUENCIA**

El variador de frecuencia debe convertir tensión trifásica que varíe entre $\pm 10\%$ a 60 hz, en tensión y frecuencia variables de salida. Debe suministrar una tensión de salida completa al motor, incluso a una tensión a una tensión de alimentación del -10% . La relación tensión - frecuencia debe ser adecuada para el control de velocidad de ventiladores centrífugos. El variador de frecuencia debe regular la salida para adaptarla continuamente a la carga de corriente del ventilador y así minimizar el consumo de energía.

El variador de frecuencia debe regular todos los tipos de motores estándar IEC o NEMA sin la carga y sin que la temperatura del motor exceda el valor habitual cuando está conectado a la red.

El variador de frecuencia debe controlar motores de distintos tamaños conectados en paralelo, y debe ser posible el suministro de una tensión de salida completa para una máquina durante su funcionamiento sin riesgo de desconexión. El variador debe funcionar sin que el motor esté conectado, para su mantenimiento.

- **SENSORES DE DIFERENCIAL DE PRESION** Los sensores seleccionados serán de un rango de presión entre 0.05- 0.25 pulgadas de columna de agua con una precisión de $\pm 1\%$, con señal de 4 a 20 mA. Trabaja con 24 voltios. Sensores preparados para montaje en pared, con caja de poliéster resistente al fuego.
- **DAMPER BAROMETRICO** Se utilizará para actuar en caso de sobre-presión en las escaleras de emergencia contarán con los siguientes elementos:

- Aletas de aluminio diseñadas para flujo horizontal.
- Eje de varilla excéntricamente pivoteado, diseñado para accionar a baja velocidad del aire.
- Rodamientos de bola lubricables para facilitar el giro del eje.
- Sellos de aletas de vinil para evitar fugas.

Los parámetros de funcionamiento del dámper barométricos a instalarse serán:

Presión de Apertura del Dámper	:	0.13" C.A.
Velocidad	:	2,000 pies/min.
Temperatura máxima	:	180°F

3.2.7.4. Sistema de Ventilación de Baños

- **VENTILADORES** Ventiladores a utilizarse serán con impelente centrífugo de simple entrada simple ancho, con aletas inclinadas hacia atrás, aerodinámicas balanceadas estática y dinámicamente en fábrica. Con gabinete y montado en una base estructural común con su motor eléctrico, contarán con amortiguadores anti vibratorio.

El eje será de acero e irá apoyado en chumaceras con rodamientos de lubricación permanente que estará montado rígidamente en la estructura metálica. Estos rodamientos serán para trabajo pesado, autoalineantes y seleccionados para una duración de 80,000 horas funcionando a la velocidad del rotor especificada. El rodete será construido de aluminio y la carcasa con planchas de acero galvanizado. El rodete estará unido mecánicamente a su eje por medio de chaveta.

- **REJILLAS DE DESCARGA DE AIRE**

- Se suministrarán é instalarán en las escaleras presurizadas, en las dimensiones y lugares indicados en planos. Se fabricaran en acero galvanizado con pintura base "washprimer" y pintura esmalte de acabado, de acuerdo a las siguientes indicaciones:
- Rejillas de descarga de doble deflexión con barras direccionales regulables tanto las horizontales como las verticales.
- Todas las piezas se construirán con marco de acero galvanizado de 1/27" espesor y las aletas de plancha de 1/54.

- Llevarán dámper para regulación del caudal.
- Todas las piezas serán pintadas con pintura base “washprimer” y acabado con pintura acrílica anódica al horno del color que especifique el Propietario.
- **REJILLAS PARA EXTRACCIÓN DE AIRE** Serán de aletas fijas e inclinadas y se construirán de acero galvanizado, de acuerdo a las siguientes indicaciones:
 - Todas las piezas se construirán con marco de acero galvanizado de 1/27” espesor y las aletas de plancha de 1/54.
 - Llevarán dámper para regulación del caudal.
 - Todas las piezas serán pintadas con pintura base “washprimer” y acabado con pintura acrílica anódica al horno del color que especifique el Propietario.
- **DIFUSORES DE SUMINISTRO DE AIRE**
 - Se suministrarán é instalarán de acuerdo a las dimensiones, número de vías y lugares indicados en planos. Se fabricaran en acero galvanizado con pintura base “washprimer” y pintura esmalte de acabado, de acuerdo a las siguientes indicaciones:
 - Los difusores hasta 18” en el lado mayor se construirán con marco de plancha de 1/27” y las aletas de plancha de 1/54”.
 - Los difusores cuyo lado mayor sea superior a 18” se construirán con marco de plancha de 1/24” y aletas de plancha de 1/40”.
 - Fabricación cumpliendo la Normas de ANSI/ASHRAE 70 1991
 - Llevarán dámper para regulación del caudal.
 - El marco (frame) deberá coordinarse con el arquitecto y dependerá del falso cielo raso donde serán instalados.
 - Todas las piezas serán pintadas con pintura base “washprimer” y acabado con pintura acrílica anódica al horno del color que especifique el Propietario.

- **DUCTOS METÁLICOS DE PLANCHA GALVANIZADA**

Se fabricarán e instalarán de conformidad con los tamaños y recorridos mostrados en planos, la totalidad de los ductos metálicos para aire acondicionado.

Se verificará las dimensiones y se comprobará que no existan obstrucciones, proponiendo alteraciones en los casos necesarios y sin costo adicional, los que estarán sujetos a la aprobación del Ingeniero Supervisor.



Para la construcción de los ductos se emplearán planchas de fierro galvanizado de la mejor calidad, tipo zinc - grip. En general, se seguirán las normas recomendadas por SMACNA (sheet metal and air conditioning contractors national association, inc).

Para la ejecución de los ductos se seguirán las siguientes instrucciones:

ANCHO DEL DUCTO	CALIBRE	EMPALMES Y REFUERZOS
Hasta 12"	Nº 26	Correderas 1" a max - 2.38 m. entre centros
13" hasta 30"	Nº 24	Correderas 1" a max - 2.38 m. entre centros
31" hasta 45"	Nº 22	Correderas 1" a max - 2.38 m. entre centros
46" hasta 60"	Nº 20	Correderas 1 1/2" a max - 2.38 m. entre centros
Más de 61"	Nº 21	Correderas 1 1/2" a max - 2.38 m. entre centros con refuerzo ángulo 1" x 1" x 1/8" entre empalmes

Todos los ductos se asegurarán firmemente al piso y paredes con tacos de expansión. Los soportes serán de ángulo de fierro negro de 2"x2"x3/16", con tratamiento base anticorrosivo y dos manos de pintura esmalte de acabado. La unión entre los ductos y los equipos se efectuarán por medio de juntas flexibles de lona de vinyl pesado y neoprene de 10" de ancho y asegurada con abrazaderas y empaquetaduras para cierre hermético.

Se proveerán compuertas manuales en los desvíos de los ductos empleando planchas de fierro galvanizado calibre Nº 24. Las transformaciones se construirán con una pendiente hasta 25 %. Todas las curvas de radio corto de los ductos de sección convencional deberán poseer guidores, conforme los detalles de SMACNA.

• AISLAMIENTO PARA DUCTOS

Todos los ductos de aire acondicionado se aislarán con colchoneta de lana de vidrio de 1.5" de espesor, de una densidad de 1.0 Lb/pie³.

Exteriormente llevará una lámina de foil de aluminio que le da un acabado uniforme y resistente. Constituyendo una barrera de vapor, la cual ira adherida a la lana de vidrio con un pegamento apropiado.

Forma de ensamble:

- La colchoneta con foil de aluminio debe colocarse ajustada alrededor del ducto por medio de zuncho plástico, con los bordes bien unidos entre sí y sujetos aplicando pegamento al traslape sobresaliente de la barrera de vapor.

- Las colchonetas con foil colocadas alrededor del ducto deben instalarse traslapando 10cm. el foil de aluminio; deben seguir el sentido longitudinal del ducto.
- Asegurar los traslapes con grampas y sellarlos con foil de refuerzo de un ancho de 3" y pegamento.
- Cualquier daño o perforación debe parcharse con el mismo material de foil de aluminio y pegamento.

• INSTALACIÓN ELÉCTRICA

En los planos de instalaciones eléctricas se indica el lugar donde la obra civil deberá dejar las provisiones eléctricas para los equipos de aire acondicionado, extracción de baños, inyección de aire fresco. Se ejecutará totalmente la conexión eléctrica de los equipos desde dichas provisiones. Los alambres y cables serán libres de halógeno.¹⁰

Será parte de la instalación eléctrica la instalación de todo el sistema de control, los arrancadores magnéticos y las botoneras de arranque ubicadas en lugares accesibles. Todos los equipos de aire acondicionado estarán conectados a tierra con su respectivo cable. Los Gabinetes de los tableros eléctricos que estén a la intemperie (Bombas Primarias, Bombas Secundarias, Presurización de escaleras, Extracción de Baños etc.), deben tener techo inclinado y un grado de protección NEMA4. Los accesorios utilizados serán de marcas de reconocido prestigio tal como SIEMENS, RODWELL, MERLIN GERIN, LEGRAND y/o SCHNEIDER, No se aceptaran otras marcas. Para la conexión eléctrica en general se seguirán las normas técnicas establecidas en el código nacional de electricidad.

• INSTALACIÓN DE DRENAJE

El drenaje de los equipos de Aire Acondicionado se conectará al sumidero proporcionado por obra civil y ubicado a una distancia no mayor de 0.5 metros de los equipos, estos puntos de drenaje deberán ser coordinados su ubicación con la obra civil al inicio de la obra; se empleará tubería PVC-SAP con uniones para embonar usando pegamento adecuado.

Sumideros para el caso de Inundación debido a eventos fortuitos. En el caso de las torres de enfriamiento por cualquier eventualidad, la obra civil deberá prever sumideros para evacuar un volumen de agua de 10m³ (mínimo 4 puntos sumideros), y en el caso de los chillers un volumen de agua de 55m³ (mínimo 4 puntos sumideros).

¹⁰LSZH- Low Smoke Zero Halogen

3.3. Diseño de Control

3.3.1. Generalidades

Este subcapítulo integra la Memoria Descriptiva, Especificaciones Técnicas y Planos, y se refiere al Sistema de administración y gestión de los sistemas electromecánicos BMS ¹¹ (Sistema de Automatización) para el CENTRO EMPRESARIAL LA MOLINA S.A.C., a construirse ubicado en la Calle Toulon (Ex Calle 12), manzana I6, sub lote 1-A1, urbanización La Rivera de Monterrico II Etapa, distrito de La Molina, Provincia y Departamento de Lima.

El proyecto de Automatización ha sido desarrollado de acuerdo a los planos de Arquitectura elaborados para este edificio y aprobados por la Municipalidad de la Molina. Este subcapítulo tiene por finalidad establecer los requerimientos mínimos para el diseño, suministro y montaje de un sistema administración y gestión de los sistemas electromecánicos, BMS el cual contará con la capacidad de control, monitoreo, manejo de las identidades y acceso para la automatización y administración de sistemas o equipos para el Proyecto.

3.3.2. Características generales

El CENTRO EMPRESARIAL LA MOLINA contempla la construcción de un edificio de 8 sótanos, 12 niveles y una azotea, cuya distribución se detalla a continuación según su uso:

- El sótano 08 es de uso solo para cisternas y cuarto de bombas
- Desde el 07mo al 1er Sótano son usados para estacionamiento vehicular, ocupaciones de servicio y depósitos.
- El Sótano 1 y Primer Piso serán de uso para Centro Comercial.
- Desde el 2do piso al piso 12 usado para alquiler de oficinas.
- En la azotea de las torres se ubicarán la planta de agua helada, sub estaciones eléctrica, ventiladores de presurización de escaleras, extractores e inyectores de aire y cuarto de control de elevadores.

¹¹ Building Mangment System

3.3.3. Objetivo

El sistema de Automatización o BMS a instalar en el Centro Empresarial La Molina está orientado a controlar y monitorear los sistemas electro-mecánicos presentes en el edificio, con el fin de lograr una eficiencia tanto en el manejo de los sistemas presentes como en el uso de los recursos, la energía eléctrica y el agua.

El edificio estará controlado por un centro de comando y está orientado al controlar los sistemas del centro comercial y oficina y estará ubicado en el sótano 1 en la oficina de Administración. Para lograr este fin el sistema de BMS tendrá un software de interacción gráfica (Diseñado en Factory Talk View Studio) entre los sistemas que controla y/o monitorea y el operador en el cual se podrá observar y controlar en tiempo real las variables o parámetros de cada sistema, el sistema también será capaz de registrar y enviar alarmas ante una situación de falla o alarma de uno de los sistemas controlados.

Así mismo el software permitirá establecer metas para el consumo de energía eléctrica y generar reportes de consumos acumulados con el fin de observar el consumo de energía en el tiempo y permitir al operador tomar medidas en caso el consumo se acerque a las metas establecidas.

3.3.4. Sistemas a Controlar

Los sistemas a controlar son:

1. Sistema Mecánicos:

- Medición y Extracción de CO en sótanos,
- Inyección de aire en sótanos,
- Unidades Manejadoras de Aire en áreas comunes,
- Planta de agua helada,
- Ventiladores de presurización de escaleras,
- Extractores e Inyectores de aire para los servicios higiénicos.
- Consumo de agua helada de las oficinas y locales comerciales,
- Nivel de CO₂ en Salas de uso Interno.

2. Sistema Eléctrico e Iluminación:

- Control de circuitos de iluminación,
- Grupos electrógenos,
- Medición de energía en tableros eléctricos,
- Subestación,
- Tableros eléctricos generales,
- Tableros eléctricos de iluminación,
- Medición de consumo de energía eléctrica en locales comerciales.

3. Sistema sanitario:

- Planta de agua fría,
- Planta de aguas negras,
- Cisternas,
- Consumo de energía eléctrica de bombas de planta sanitaria,
- Consumo de agua

4. Otros Sistemas: Los cuales no abarca el presente proyecto, pero si el Proyecto General en sí.

- Sistemas de Control de Accesos,
- Sistema de CCTV,
- Sistema de Alarmas y Detección de incendios,

Además el sistema de BMS deberá contemplar y prever que el edificio seguirá un proceso de certificación LEED y por tanto ha sido diseñado desde sus inicios apuntando a calificar para esta certificación en los aspectos de ahorro energético así como el control de sus sistemas electromecánicos. Por tanto el sistema tendrá la capacidad de integrar a futuro los medidores de energía eléctrica de las oficinas.



3.3.4.1. Listado de Puntos a Controlar- Sistema BMS

SISTEMA	Subsistema	Equipo a controlar	Código de Bloque (ubicado en planos)	Parámetro	CANTIDAD POR BLOQUE	ENTRADA ANALOGA	ENTRADA BINARIA	SALIDA BINARIA	SALIDA ANALOGA	COMUNICACIÓN	OBSERVACIÓN
SISTEMAS MECÁNICOS	Medidor de consumo de BTU en oficinas y locatarios	Medidor de consumo de BTU	B-1	Temperatura de agua en las tuberías de ingreso	1	X					Estas señales pueden ser enviadas por protocolo de comunicación
				Temperatura de agua en las tuberías de retorno	1	X					Estas señales pueden ser enviadas por protocolo de comunicación
				Flujo	1	X					Estas señales pueden ser enviadas por protocolo de comunicación
				Consumo de BTU	1					X	
	Extracción e inyección de aire, medición de nivel de CO en sótanos	Sensor de CO en sótanos	D-CO	Nivel de CO en sótanos alarma a los 50 ppm continuamente por 5 minutos.	1	X					
				Rele de alarma en el sitio	1			X			
		Inyector de Aire en Sótanos	B-3	Equipo energizado	1		X				
				Control On/Off	1			X			
		Extractor de CO en Sótanos	B-4	Equipo energizado	1		X				
				Control On/Off	1			X			
		Inyector de Aire	B-32	Equipo energizado	1		X				
				Control On/Off	1			X			
		Extractor de aire en Servicios Higiénicos	B-33	Equipo energizado	1		X				
				Control On/Off	1			X			
	Planta de Agua Helada	Bombas Secundarias	B-5	Equipo energizado	1		X				
				Control On/Off	1			X			
				Control de Variador de frecuencia	1				X		
		Bombas Primarias	B-6	Equipo energizado	1		X				En cada una de las 03 fases de la bomba
				Control On/Off	1			X			
		Bombas de Condensación	B-7	Equipo energizado	1		X				En cada una de las 03 fases de la bomba
				Control On/Off	1			X			
		Analizadores de red en tableros de bombas y Chillers	B-29	Integración de analizadores de red, los cuales deben brindar al menos los siguientes parámetros: V, I, Kw/h, fdp, consumos acumulados y lecturas en tiempo real.	1					X	El protocolo de comunicación será MODBUS RTU
				Control On/Off	1			X			
		Chiller	B-8	Estatus de chiller	1		X				
				Medición de BTU en salida de chiller	1	X					
				Temperatura de suministro	1	X					
				Temperatura de retorno	1	X					
				Presión diferencial entre suministro y retorno de agua helada	1	X					
				Falla general	1		X				
				Inundación en pisos	1		X				Sonda detector de inundación.
		Torres de Enfriamiento	B-9	Detección de nivel alto de agua	1		X				
				Estatus de torre	1		X				
				Control de Variador de frecuencia	1				X		
				Temperatura del exterior de la torre	1	X					
				Temperatura del agua en la torre	1	X					
				Inundación en pisos	1		X				Sonda detector de inundación.
	Bombas de Enfriamiento	B-10		Control On/Off	1			X			
				Equipo energizado	1		X				



SISTEMA ELÉCTRICO	Presurización de Escaleras	Ventilador Presurizador de Escaleras	B-11	Ventilador Operando (Detector de presión diferencial)	1		X						
	Sistema de HVAC	Unidad manejadora de Aire en áreas comunes	T1	Temperatura en área	1	X							
			B-34	Control de válvula de dos vías modulante en retorno de agua fría	1				X				
				Temperatura en retorno de aire acondicionado	1	X							
				Control on/off de Unidad Manejadora de aire	1			X					
		Sensor de CO2	D-CO2	Nivel de CO2 en ambiente	1	X							En ambos SUM del primer nivel del edificio
	Grupo Electrónico	Grupo Electrónico	B-2	Comunicación por protocolo abierto MODBUS	1					X			El protocolo de Integración será MODBUS RTU
				Nivel de tanque de combustible	1	X							El medidor empleado será aprobado para áreas con riesgo de explosión.
				Grupo funcionando	1		X						Señal entregada por el tablero del grupo electrógeno
				Baja presión de aceite	1		X						Señal entregada por el tablero del grupo electrógeno
				Baja carga en baterías	1		X						Señal entregada por el tablero del grupo electrógeno
				Grupo fuera de automático	1		X						Señal entregada por el tablero del grupo electrógeno
				Alta temperatura	1		X						Señal entregada por el tablero del grupo electrógeno
				Sobrevelocidad	1		X						Señal entregada por el tablero del grupo electrógeno
				Interruptor de grupo abierto	1		X						Señal entregada por el tablero del grupo electrógeno
	Tableros Eléctricos	Sub estación - Tableros Principales	B-26	Medición de temperatura en transformadores	2	X							Señal entregada por el proveedor de los transformadores. Una por cada transformador
				Estado de Interruptor general en tableros generales	1		X						Señal provista por el proveedor de los tableros
				Presencia de tensión en barras de tableros generales	1		X						Señal provista por el proveedor de los tableros
				Disparo de interruptores de salida	1		X						Señal provista por el proveedor de los tableros
				Integración de analizadores de red, los cuales deben brindar al menos los siguientes parámetros: V, I, Kw/h, fdp, consumos acumulados y lecturas en tiempo real.	1					X			El protocolo de comunicación será MODBUS RTU
				Control on/off de extractores en sub estación.	1				X				Para Sub estación del Centro Comercial en Sotano 1.
				Monitoreo de alarma de alta temperatura en transformadores.	2		X						Señal entregada por el proveedor de los transformadores. Una por cada transformador
	Sub estación - Celdas de Media Tensión		B-28	Posición de interruptores de celda de llegada	3		X						Señal provista por el proveedor de los equipos
				Estado del seccionador de celda de salida	4		X						Señal provista por el proveedor de los equipos
	Tableros de Iluminación		B-12	Control On/Off de circuitos de Iluminación, de acuerdo a niveles de Iluminación requeridos					X				De acuerdo a Indicación en planos
				Detector de presencia en sótanos.			X						De acuerdo a Indicación en planos por grupos de sensores de presencia



SISTEMA SANITARIO	Medición de energía en concesionarios (locales comerciales)	Medidores de Energía Eléctrica	B-25	Medición de consumo de energía eléctrica						X	El protocolo de comunicación será MODBUS RTU
	Planta de Agua Fría	Cisternas de Agua Fría	B-13	Medición de nivel de cisterna	1	X					Monitorear cisterna por medidor ultrasónico, alarma ante bajo nivel
		Bombas de Agua Fría	B-14	Monitoreo estado de bombas agua potable	4		X				Monitoreo de 03 bombas de agua fría y 01 bomba de reciclaje
				Presión en la línea	4	X					
		Analizadores de red en tableros de bombas	B-29	Integración de analizadores de red, los cuales deben brindar al menos los siguientes parámetros: V, I, Kw/h, fdp, consumos acumulados y lecturas en tiempo real.	1					X	El protocolo de comunicación será MODBUS RTU
		Tuberías de Agua	B-16	Flujo de Agua	1	X					Medidor de flujo de agua en la línea principal del sistema para medición del total de consumo de agua del edificio.
		Cisternas de Agua Contra Incendios	B-13	Medición de nivel de cisterna	1	X					Monitorear cisterna por medidor ultrasónico, alarma ante bajo nivel
		Cuarto de bombas y servicios higiénicos públicos	B-27	Inundación en pisos	1		X				Sonda detector de inundación.
	Planta Sumidero o Aguas Negras	Bombas	B-18	Monitoreo estado de bombas	2		X				
		Pozo sumidero	B-19	Nivel de pozo sumidero	1	X					Monitorear pozo sumidero por medidor ultrasónico, alarma ante bajo nivel

Tabla 3.6: Listado de Puntos a Controlar- SISTEMA BMS

3.3.5. Planos y Documentos

El presente proyecto considera los siguientes documentos los cuales fueron diseñados por especialistas en la materia y deberán ser considerados para la implementación del sistema.

Ítem	Título	Código	Revisión
1	Sistema de Automatización y BMS - Cisterna	BMS-01	2
2	Sistema de Automatización y BMS - Planta Sótano 8	BMS-02	2
3	Sistema de Automatización y BMS - Planta Sótano 6 y 7	BMS-03	2
4	Sistema de Automatización y BMS - Planta Sótano 3, 4 y 5	BMS-04	2
5	Sistema de Automatización y BMS - Planta Sótano 2	BMS-05	2
6	Sistema de Automatización y BMS - Planta Sótano 1	BMS-06	2
7	Sistema de Automatización y BMS - Planta Piso 1	BMS-07	2
8	Sistema de Automatización y BMS - Planta Piso 2	BMS-08	2
9	Sistema de Automatización y BMS - Planta Piso 3	BMS-09	2
10	Sistema de Automatización y BMS - Planta Piso 4, 5 y 7	BMS-10	2
11	Sistema de Automatización y BMS - Planta Piso 6	BMS-11	2
12	Sistema de Automatización y BMS - Planta Piso 8	BMS-12	2
13	Sistema de Automatización y BMS - Planta Piso 9	BMS-13	2
14	Sistema de Automatización y BMS - Planta Piso 10 y 11	BMS-14	2
15	Sistema de Automatización y BMS - Planta Piso 12	BMS-15	2
16	Sistema de Automatización y BMS - Planta Techo	BMS-16	2
17	Sistema de Automatización y BMS - Detalles	BMS-17	2
18	Sistema de Automatización y BMS - Detalles	BMS-18	2

Tabla 3.7: Planos del Sistema de Automatización



3.3.6. Metrado de Automatización por Planos

Tabla 3.8: Metrado de Automatización por Planos

	P1 - NIVEL CISTERNA	P2-SOT 8	P3 SOT 6 Y 7	P4-SOT 3, 4 Y 5	P5-SOT2	P6-SOT 1	P7-PISO 1	P8-PISO 3	P9-PISO 2	P10-PISO 4, 5 Y 7	P11-PISO 6	P12-PISO 8	P13-PISO 9	P14-PISO 10 Y 11	P15-PISO 12	P16-AZOTEA	TOTAL
MEDICION DE CONSUMO DE AGUA HELADA	0	0				6	8	9	9	24	8	8	7	14	7		100
MONITOREO DE GRUPO ELECTROGENO	0	0														1	1
MONITOREO Y CONTROL DE INYECTOR DE AIRE	0	2	4	6	2												14
MONITOREO Y CONTROL DE EXTRACTOR CO	2	0															2
MONITOREO Y CONTROL BOMBAS SECUNDARIAS	0	0														3	3
MONITOREO Y CONTROL BOMBAS PRIMARIAS	0	0														3	3
MONITOREO Y CONTROL BOMBAS CONDENSACION	0	0														3	3
MONITOREO Y CONTROL DE PLANTA DE AGUA HELADA	0	0														2	2
MONITOREO Y CONTROL DE TORRE DE ENFRIAMIENTO	0	0														2	2
MONITOREO DE VENTILADORES PRESURIZACION ESCALERA	0	0														4	4
CONTROL DE TABLEROS DE ILUMINACION	0	1	2	3	1	1	1			3				2			14
MONITOREO DE NIVEL CISTERNA	3	0															3
MONITOREO DE BOMBAS AGUA FRIA Y PRESION DE AGUA	3	0															3
MONITOREO DE FLUJO DE AGUA	1	0															1
MONITOREO Y CONTROL DE BOMBAS AGUAS NEGRAS	1	0															1
NIVEL POZO SUMIDERO	1	0															1
MONITOREO DE SISTEMA ALARMA Y DETECCION INCENDIOS	0	0				1											1
MONITOREO DE SISTEMA DE CCTV	0	0				1											1
MONITOREO DE SISTEMA DE CONTROL DE ACCESO	0	0				1											1
INTEGRACION MEDIDORES DE CONSUMO ENERGIA	0	0														2	2
MONITOREO Y CONTROL TABLEROS ELECTICO Y SUBESTACION	0	0														1	1
DETECCION DE INUNDACION EN PISOS	1				2	6	4	1	1	3	1	1	1	2	1	4	28
MONITOREO PARAMETROS DE CELDAS DE MEDIA TENSION	0	0														1	1
INTEGRACION DE ANALIZADORES DE RED	0	0															0
MONITOREO Y CONTROL INYECTOR DE AIRE PARA SSHH	0	0														8	8
DETECTOR DE MOVIMIENTO DE TECHO	0	10	20	30	9												69
SENSOR DE CO EN SOTANO	0	9	18	27	9												63
TERMOSTATO PARA CONTROL UNIDADES MANEJADORAS DE AIRE EN SITIO						5	5	1	1	3	1	1	1	2	1		21
MONITOREO Y CONTROL DE UNIDADES MANEJADORES DE AIRE						5	5	1	1	3	1	1	1	2	1		21
DETECTOR DE CO2 EN SALAS DE USOS INTERNOS							2										2
MONITOREO Y CONTROL EXTRACTOR DE AIRE PARA SSHH																9	9

3.3.7. Normativa Aplicable

Será indispensable su aplicación, para el correcto desarrollo de los trabajos de ingeniería solicitados, toda la Reglamentación y Normativa internacional y vigente en el Perú que mantenga relación con las actividades que se desarrollen en la sede mencionada. Por lo tanto la implementación de los sistemas en el presente documento está referidas y además cumplir con los siguientes códigos, estándares y documentación donde sea aplicable:

- Código Nacional de Electricidad - Utilización del Perú vigente a la fecha, en lo referido a la canalización, cableado y provisión de los elementos de los sistemas de seguridad electrónica.
- NFPA 70: National Electrical Code - Edición 2007.
- RNE: Reglamento Nacional de Edificaciones.
- Recomendaciones del fabricante de los equipos a ser instalados, en lo referido a la instalación de los mismos y su óptimo funcionamiento.
- Recomendaciones del fabricante referido a las distancia de utilización del cable y empalmes.

En caso de presentarse una contrariedad entre los reglamentos o normas mencionados anteriormente, se considerará la opción más exigente entre ambos.

3.3.8. Sistema del Sistema de Automatización

3.3.8.1. Generalidades del Sistema de Automatización

El sistema de automatización tendrá la capacidad de controlar, monitorear, designar niveles de autorización, generar reportes, manejo de identidades y accesos para la automatización y administración de los sistemas o equipos electromecánicos a controlar.

El sistema de BMS estará conformado por una serie de controladores conectados en una red propietaria, los cuales recibirán señales analógicas, digitales y discretas, provenientes de los sensores en campo. Los controladores tendrán la capacidad de integrar varias funciones para el manejo de los sensores, incluyendo supervisión, control, administración de alarmas, archivo de datos históricos, entre otros.

Así mismo cada grupo de controladores que operen sobre cada sistema específico trabajaran en modo “stand alone” ante el caso de una falla del sistema central o pérdida de la red, y sigan elaborando las rutinas de control y monitoreo sobre cada sistema. El Sistema de Automatización será escalable y contará con una plataforma que le permita expandirse para controlar y monitorear otros equipos o sistemas electromecánicos con los que cuente el Edificio. Además dado que está diseñado para el ahorro de energía los controladores serán de tipo DDC ¹², para todos los equipos y/o sistemas a automatizar.

El sistema contará con un controlador maestro en la red Ethernet que integrará en protocolos MODBUS, BACNET MSTP/TP, LONWORKS, además de enlazar todos los controladores de campo y/o equipos bajo los protocolos de comunicación abierto mencionados. El sistema será altamente intuitivo y fácil de operar, contará con pantallas en entorno gráfico que reflejan los parámetros de control y monitoreo de cada uno de los componentes del sistema. El protocolo de comunicación entre los controladores de campo y el controlador maestro será abierto (MODBUS, BACNET, LONWORKS o ARCNET) y deberá poder integrarse a otros sistemas o recibir también información de otros equipos o sistemas que sean capaces de transmitir su estado por medio de protocolos de comunicación abiertos. La topología física de la red será de tipo bus o tipo estrella. Además el sistema contemplará la capacidad para integrar futuros medidores de energía en las oficinas, tanto en espacio en tuberías como en capacidad para integración de los controladores.

3.3.8.2. Controladores De Campo

Los controladores de campo, son equipos que reciben las señales de los dispositivos y las procesan a fin de realizar una rutina de control específica. Estos equipos estarán en la capacidad de ejecutar su rutina de control en forma autónoma en caso la comunicación con el controlador maestro se interrumpa, por tanto tendrán la capacidad de almacenar datos históricos de los eventos sucedidos para luego reportarlos al controlador maestro, esta memoria no será volátil por lo que los datos almacenados ni las rutinas de control establecidas no se borrarán ante un corte de energía.

Los controladores de campo podrán recibir y emitir señales análogas (de voltaje, corriente, resistivas) y/o digitales (pulsos), así mismo admitirán módulos de expansión de puntos de entrada y salidas (IOM) para escalar sus capacidades para controlar o monitorear señales.

¹²Control Digital Directo

- Características y selección en el Mercado

Las características básicas que debe de presentar el controlador son:

- Alimentación eléctrica de entrada: 120/240 VAC.
- 08 salidas digitales a relé individualmente aisladas.
- 02 entradas analógicas de 0 a 10 VCC.
- Indicadores led de estado y pantalla de visualización de estado de las entradas y salidas.
- Puertos de comunicación RS-232/485, puerto Ethernet.
- Permite conexiones con módulos de expansión E/S.
- Temperatura de funcionamiento 0...80°C.

Los controladores lógicos a utilizar son los PLC Micrologix 1400 y 850 modelos 1766-L16AWA para los plc secundarios y el 1769-L32AWA para el PLC principal, los cuales poseen 20 entradas digitales/12 salidas a relé y 10 entradas digitales/ 2 entradas analógicas/ 6 salidas a relé respectivamente. Trabajan a una temperatura 20 °C a +95 °C y poseen memoria de expansión. El número de entradas y salidas tanto digitales como analógicas se menciona en el anterior subcapítulo.

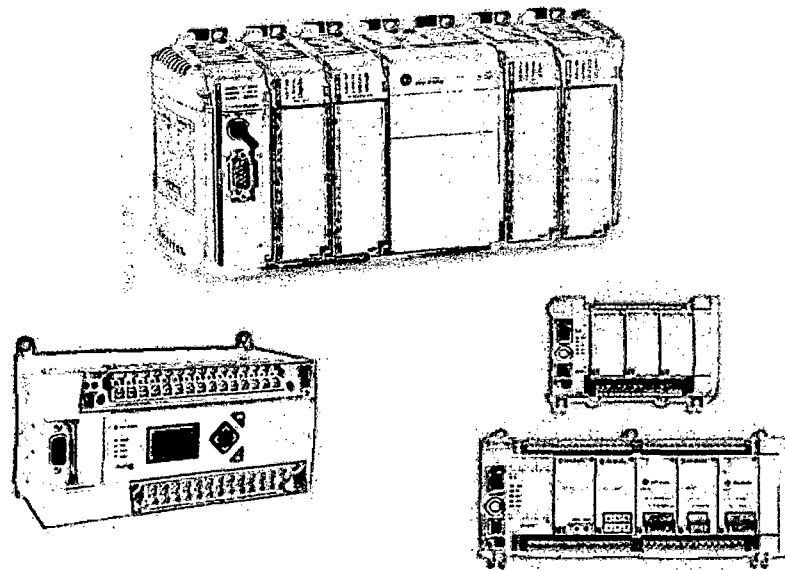


Figura 3.3: PLCs usados para el control

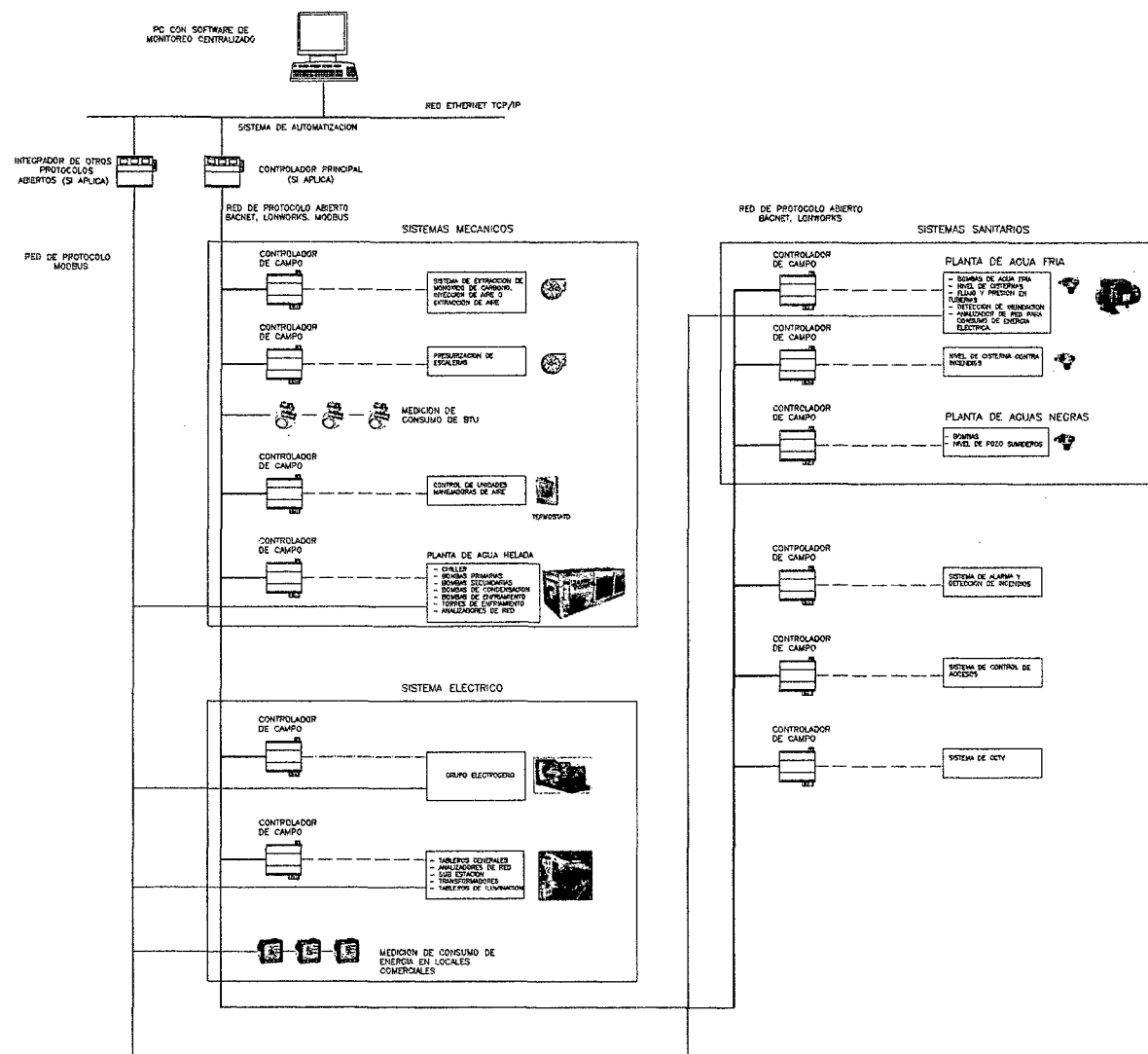


Figura 3.4: Arquitectura del Sistema de Automatización del Edificio

- Jerarquía de control y Comunicaciones

El diseño de Automatización sigue la siguiente Jerarquía de Control

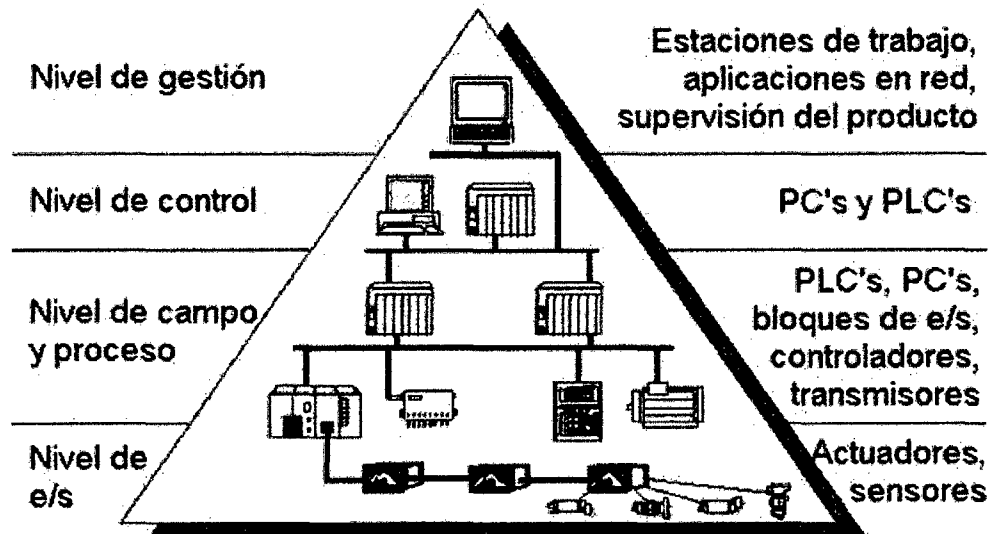


Figura 3.5: Jerarquía de Control

- Conexión de los elementos Primarios de control

- Conexión del Transmisor de Nivel Ultrasónico

La salida de la señal de 4 a 20 mA de los transmisores de cada reservorio ira conectada en lazo de corriente directamente a la entrada analógica de cada uno de los PLC (por no ser una variable crítica y por ser más económica la comunicación) este se encargara de enviar el nivel de agua al sistema scada; estos datos sirven para el funcionamiento eficiente de las electrobombas primarias y secundarias del Sistema de Climatización.

- Conexión del Transmisor de Flujo Ultrasónico Los convertidores de sonido que detectan el flujo de agua helada que se le entregará a cada oficina para el posterior consumo energético del Edificio, la salida será a dos hilos de 4-20mA que irá hacia una de las entradas analógicas del PLC.

- Conexión del Transmisor de Temperatura RTD

Los transmisores de Temperatura Resistivos RTD serán ubicados dentro de las torres de enfriamiento, las Unidades Manejadoras de Aire y los chiller, cuentan

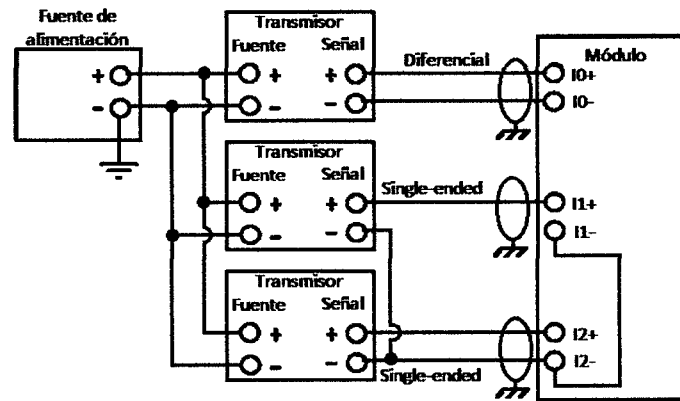


Figura 3.6: Conexión de Transmisor de Nivel

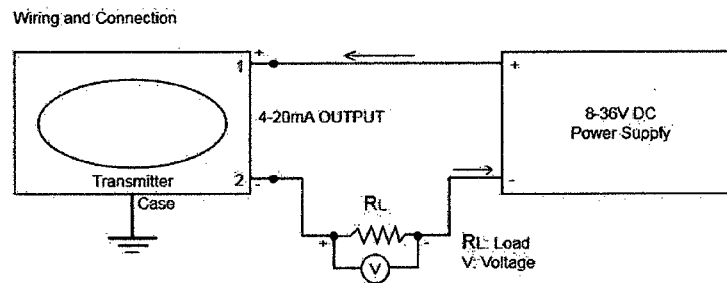


Figura 3.7: Conexión de Transmisor de Flujo Ultrasónico

con una salida a 3 hilos de 4 a 20mA que irá a una de las entradas analógicas del PLC.

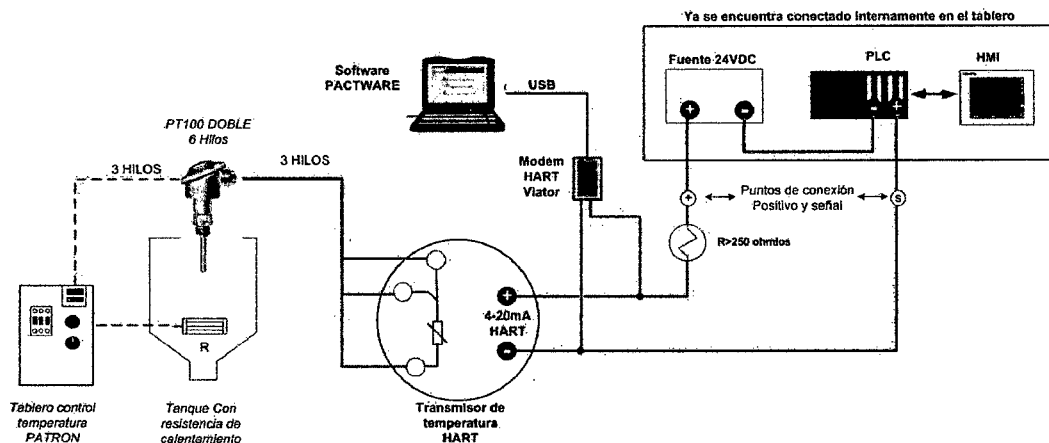


Figura 3.8: Conexión de Transmisor de Temperatura

- Configuración del PLC

La programación de los PLC tanto del principal como de los esclavos se desarrollara en el lenguaje ladder o de contactos, con esto se realizara el control general del sistema y para poder monitorearlo se llevara todas estas variables a un sistema scada realizado en "Factory Talk Site Edition" el cual será amigable para el operador. Además contara con diferentes niveles de seguridad para poder prevenir que otros usuarios intervengan en él y una base de datos que registre las variables más importantes.

El programa le permitirá elegir al usuario qué modo de operación desea, ya sea el modo automático, el cual leerá las variables iniciales del proceso y de acuerdo a esto se podrán iniciar a los elementos finales de control obteniendo así un manejo adecuado; y el modo manual lo que le permitirá elegir que Etapa del Sistema deben activarse de acuerdo como se requiera.

El programa en ladder se realizará en el software RSLOGIX 5000 de la marca ALLEN BRADLEY para el PLC Maestro y en el software RSLOGIX 500 para los PLC's Micrologix (PLC secundarios o esclavos), estos programas permitirán realizar la automatización del proceso, más adelante se detalla la programación tanto del PLC principal como el de los secundarios (en estos la programación es idéntica ya que poseen los mismos elementos de control y solo se mencionara la de un solo PLC).

- Diagrama de Flujo

Es una representación gráfica del proceso, en el cual se muestran los pasos a seguir y poder alcanzar la solución de la problemática siguiendo un orden lógico.

A continuación se muestra el diagrama de flujo empleado en la secuencia del proceso de automatización, en él se explica cada paso de la lógica secuencial realizada así como también las decisiones tomadas, todo esto para que el control de este proceso sea el más eficiente posible.

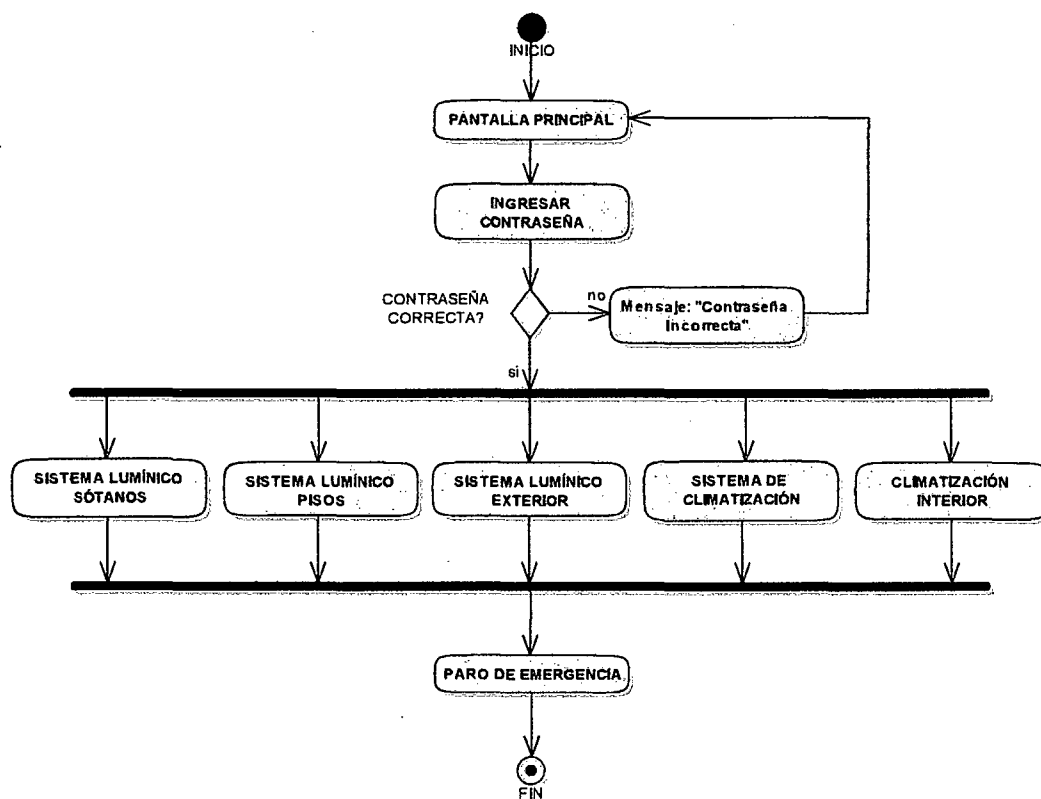


Figura 3.9: Diagrama de Flujo del Proceso en General

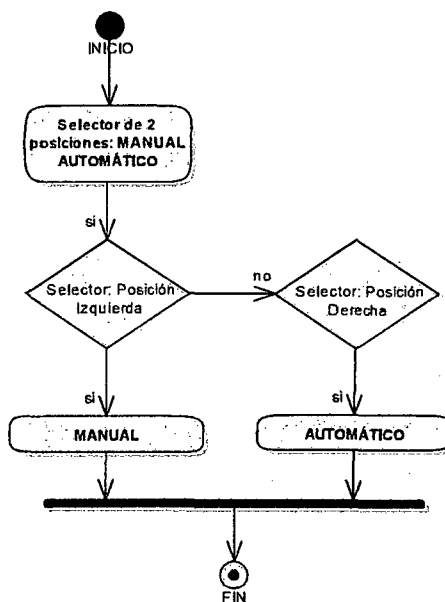


Figura 3.10: Diagrama de Flujo de los modos de Control

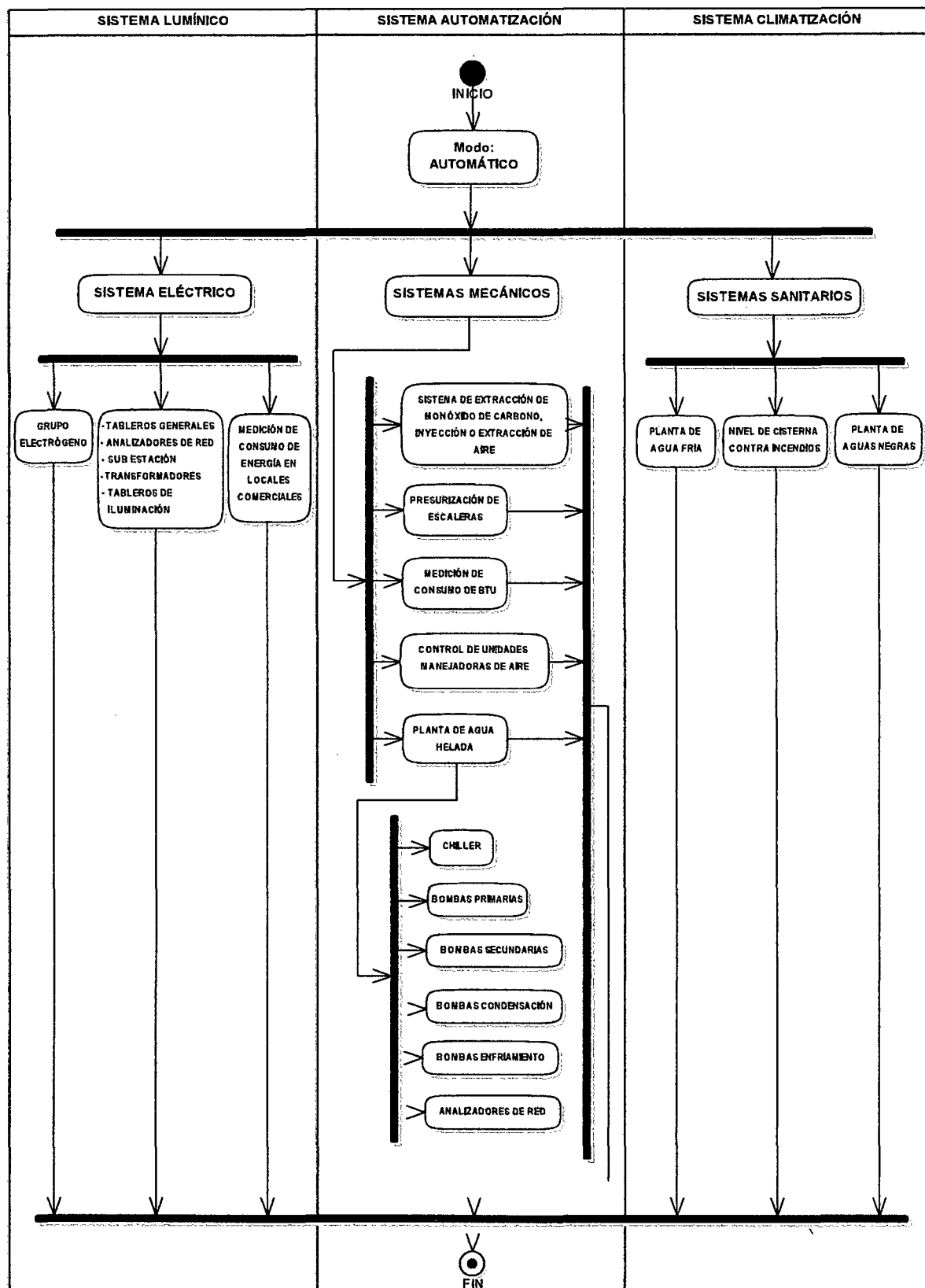


Figura 3.11: Diagrama de Flujo de la Arquitectura del Sistema de Automatización



3.3.8.3. Entradas y Salidas de los PLC esclavos

Tabla 3.9: Metrado de Entradas y Salidas de los PLC

	INPUT DIGITAL	OUTPUT DIGITAL	ENTRADA ANALÓGICA	COMUNICACIÓN	SALIDA ANALÓGICA		
PLANO 1: NIVEL CISTERNA (CUARTO DE BOMBAS)							
MONITOREO DE EXTRACCIÓN DE MONÓXIDO(2)							
SENSOR DE CORRIENTE	2						
CONTROL ON/OFF		2					
MONITOREO DE CO ₂ EN SALA DE USOS INTERNOS(2)							
MONITOREO DE NIVEL DE CISTERNA (3)							
SENSOR DE NIVEL ULTRASONICO			3				
MONITOREO DE BOMBAS DE AGUA FRÍA Y PRESIÓN DE AGUA(3)							
SENSOR DE CORRIENTE (ESTADO DE BOMBAS)	3						
TRANSMISOR DE PRESIÓN DIFERENCIAL			3				
MONITOREO DE FLUJO DE AGUA							
FLUJIMETRO DE AGUA DE 4" PARA FACTURACIÓN DE AGUA			1				
MONITOREO Y CONTROL DE BOMBAS DE AGUAS NEGRAS							
SENSOR DE CORRIENTE (OJO)	2						
NIVEL POZO SUMIDERO							
SENSOR DE NIVEL ULTRASONICO			1				
DETECCIÓN INUNDACIÓN DE PISO							
SENSOR PARA INUNDACIÓN DE PISOS	1						
TOTAL E/S	8	2	8				
PLANO 2: SOTANO 8							
MONITOR DE INYECTOR DE AIRE							
SENSOR DE CORRIENTE	2						
CONTROL ON/OFF		2					
SENSOR DE CO EN SOTANOS							
SENSOR DE CO			9				
DETECTOR DE MOVIMIENTO DE TECHO PIR							
DETECTOR DE PRESENCIA EN TECHO	10						
CONTROL DE TABLEROS DE ILUMINACIÓN							
SALIDAS A UTILIZAR PARA EL CONTROL ON/OFF		8					
TOTAL E/S	12	10	9				

DESCRIPCIÓN PLC:	CANT.
ENTRADAS DIGITALES	8
SALIDAS DIGITALES	2
ENTRADAS ANALÓGICAS DE 4 A 20mA	8
COMUNICACIÓN MODBUS RTU	

Controlador MICRO850 modelo 2080-LC20-20QWB, de 12 entradas de 24 VDC, 4 entradas analógicas a voltaje, 7 salidas a relé, 1 salida analógica; con soporte para tarjeta MicroSD y con puerto Ethernet y RS-232/485, con comunicación Modbus. Alimentación 24VDC	1
Módulo enchufable 2080-IF4, módulo de entrada analógica de 4 canales, 0 – 20 mA, 0 – 10 V, no aislada, 12 bits	2
Fuente de alimentación externa de 120/240VAC a 24VDC	1

MÍNIMO REQUERIMIENTO PLC:	CANT.
ENTRADAS DIGITALES	12
SALIDAS DIGITALES	10
ENTRADAS ANALÓGICAS DE 4 A 20mA	9
COMUNICACIÓN MODBUS	

PLANO 3: SOTANO 6 Y 7							
MONITOR DE INYECTOR DE AIRE							
SENSOR DE CORRIENTE	2					1 requerimiento por piso	x2
CONTROL ON/OFF		2				MINIMO REQUERIMIENTO PLC:	
SENSOR DE CO EN SOTANOS						ENTRADAS DIGITALES	12
SENSOR DE CO			9			SALIDAS DIGITALES	10
DETECTOR DE MOVIMIENTO DE TECHO PIR						ENTRADAS ANALOGICAS DE 4 A 20mA	9
DETECTOR DE PRESENCIA EN TECHO	10					COMUNICACIÓN MODBUS	
CONTROL DE TABLEROS DE ILUMINACION							
SALIDAS A UTILIZAR PARA EL CONTROL ON/OFF		8					
TOTAL E/S	12	10	9				
PLANO 4: SOTANO 3, 4 Y 5							
MONITOR DE INYECTOR DE AIRE							
SENSOR DE CORRIENTE	2					MINIMO REQUERIMIENTO PLC:	x3
CONTROL ON/OFF		2				ENTRADAS DIGITALES	12
SENSOR DE CO EN SOTANOS						SALIDAS DIGITALES	10
SENSOR DE CO			9			ENTRADAS ANALOGICAS DE 4 A 20mA	9
DETECTOR DE MOVIMIENTO DE TECHO PIR						COMUNICACIÓN MODBUS	
DETECTOR DE PRESENCIA EN TECHO	10						
CONTROL DE TABLEROS DE ILUMINACION							
SALIDAS A UTILIZAR PARA EL CONTROL ON/OFF		8					
TOTAL E/S	12	10	9				
PLANO 5: SOTANO 2							
MONITOR DE INYECTOR DE AIRE							
SENSOR DE CORRIENTE	2					MINIMO REQUERIMIENTO PLC:	1
CONTROL ON/OFF		2				ENTRADAS DIGITALES	13
SENSOR DE CO EN SOTANOS						SALIDAS DIGITALES	10
SENSOR DE CO			9			ENTRADAS ANALOGICAS DE 4 A 20mA	9
DETECTOR DE MOVIMIENTO DE TECHO PIR						COMUNICACIÓN MODBUS	
DETECTOR DE PRESENCIA EN TECHO	9						
CONTROL DE TABLEROS DE ILUMINACION							



SALIDAS A UTILIZAR PARA EL CONTROL ON/OFF		8			
DETECCION DE INUNDACION DE PISOS					
SENSOR PARA INUNDACION DE PISOS	2				
TOTAL E/S	13	10	9		
PLANO 6: SOTANO 1					
MEDICION DE CONSUMO DE AGUA HELADA EN OFICINA					
SONDA DE TEMPERATURA			0		
FLUJOMETRO DE 2" PARA FACTURACION DE AGUA			0		
CONTROL DE TABLEROS DE ILUMINACION					
SALIDAS A UTILIZAR PARA EL CONTROL ON/OFF		20			
MONITOREO DE SISTEMA DE ALARMA Y DETECCION DE INCENDIOS					
MONITOREO DE SISTEMA DE CCTV					
MONITOREO DE SISTEMA DE CONTROL DE ACCESO					
DETECCION DE INUNDACION DE PISOS					
SENSOR PARA INUNDACION DE PISOS	6				
MONITOREO DE UNIDADES MANEJADORAS DE AIRE					
SENSOR DE CORRIENTE	5				
SENSOR DE TEMPERATURA AMBIENTE			5		
CONTROL DE VALVULAS DE 2 VIAS					5
CONTROL ON/OFF UNIDADES MANEJADORAS DE AIRE		5			
TERMOSTATO DE UNIDADES MANEJADORAS DE AIRE					
SENSOR DE TEMPERATURA TIPO RTD 150mm			0		
TOTAL E/S	11	25	5	0	5
PLANO 7: PISO 1					
MEDICION DE CONSUMO DE AGUA HELADA EN OFICINA					
SONDA DE TEMPERATURA			0		
FLUJOMETRO DE 2" PARA FACTURACION DE AGUA			0		
MONITOREO DE CO2 EN SALA DE USOS INTERNOS					

MINIMO REQUERIMIENTO PLC:

ENTRADAS DIGITALES	11
SALIDAS DIGITALES	25
ENTRADAS ANALOGICAS DE 4 A 20mA	5
SALIDA ANALOGICA	5
COMUNICACIÓN MODBUS	



SENSOR DE CO2			2		
CONTROL DE TABLEROS DE ILUMINACION					
SALIDAS A UTILIZAR PARA EL CONTROL ON/OFF		13			
DETECCION DE INUNDACION DE PISOS					
SENSOR PARA INUNDACION DE PISOS	4				
MONITOREO DE UNIDADES MANEJADORAS DE AIRE					
SENSOR DE CORRIENTE	5				
SENSOR DE TEMPERATURA AMBIENTE			5		
CONTROL DE VALVULAS DE 2 VIAS					5
CONTROL ON/OFF UNIDADES MANEJADORAS DE AIRE		5			
TERMOSTATO DE UNIDADES MANEJADORAS DE AIRE					
SENSOR DE TEMPERATURA TIPO RTD 150mm			5		
TOTAL E/S	9	18	12	0	5
PLANO 8: PISO 2					
MEDICION DE CONSUMO DE AGUA HELADA EN OFICINA					
SONDA DE TEMPERATURA			0		
FLUJOMETRO DE 2" PARA FACTURACION DE AGUA			0		
DETECCION DE INUNDACION DE PISOS					
SENSOR PARA INUNDACION DE PISOS	1				
MONITOREO DE UNIDADES MANEJADORAS DE AIRE					
SENSOR DE CORRIENTE	1				
SENSOR DE TEMPERATURA AMBIENTE			1		
CONTROL DE VALVULAS DE 2 VIAS					1
CONTROL ON/OFF UNIDADES MANEJADORAS DE AIRE		1			
TERMOSTATO DE UNIDADES MANEJADORAS DE AIRE					
SENSOR DE TEMPERATURA TIPO RTD 150mm			1		
TOTAL E/S	2	1	2	0	1
PLANO 9: PISO 3					
MEDICION DE CONSUMO DE AGUA HELADA EN OFICINA					
SONDA DE TEMPERATURA			0		
FLUJOMETRO DE 2" PARA FACTURACION DE AGUA			0		

MINIMO REQUERIMIENTO PLC:

ENTRADAS DIGITALES	9
SALIDAS DIGITALES	18
ENTRADAS ANALOGICAS DE 4 A 20mA	12
SALIDA ANALOGICA	5
COMUNICACIÓN MODBUS	

MINIMO REQUERIMIENTO PLC:

ENTRADAS DIGITALES	2
SALIDAS DIGITALES	1
ENTRADAS ANALOGICAS DE 4 A 20mA	2
SALIDA ANALOGICA	1
COMUNICACIÓN MODBUS	

ojo con planos del piso 2 y 3





DETECCION DE INUNDACION DE PISOS					
SENSOR PARA INUNDACION DE PISOS	1				
MONITOREO DE UNIDADES MANEJADORAS DE AIRE					
SENSOR DE CORRIENTE	1				
SENSOR DE TEMPERATURA AMBIENTE			1		
CONTROL DE VALVULAS DE 2 VIAS					1
CONTROL ON/OFF UNIDADES MANEJADORAS DE AIRE		1			
TERMOSTATO DE UNIDADES MANEJADORAS DE AIRE					
SENSOR DE TEMPERATURA TIPO RTD 150mm			1		
TOTAL E/S	2	1	2	0	1
PLANO 10: PISO 4, 5 Y 7					
MEDICION DE CONSUMO DE AGUA HELADA EN OFICINA					
SONDA DE TEMPERATURA			0		
FLUJOMETRO DE 2" PARA FACTURACION DE AGUA			0		
CONTROL DE TABLEROS DE ILUMINACION					
SALIDAS A UTILIZAR PARA EL CONTROL ON/OFF		10			
DETECCION DE INUNDACION DE PISOS					
SENSOR PARA INUNDACION DE PISOS	1				
MONITOREO DE UNIDADES MANEJADORAS DE AIRE					
SENSOR DE CORRIENTE	1				
SENSOR DE TEMPERATURA AMBIENTE			1		
CONTROL DE VALVULAS DE 2 VIAS					1
CONTROL ON/OFF UNIDADES MANEJADORAS DE AIRE		1			
TERMOSTATO DE UNIDADES MANEJADORAS DE AIRE					
SENSOR DE TEMPERATURA TIPO RTD 150mm			1		
TOTAL E/S	2	11	2	0	1
PLANO 11: PISO 6					
MEDICION DE CONSUMO DE AGUA HELADA EN OFICINA					
SONDA DE TEMPERATURA			0		
FLUJOMETRO DE 2" PARA FACTURACION DE AGUA			0		
DETECCION DE INUNDACION DE PISOS					

MININO REQUERIMIENTO PLC:

ENTRADAS DIGITALES	2
SALIDAS DIGITALES	1
ENTRADAS ANALOGICAS DE 4 A 20mA	2
SALIDA ANALOGICA	1
COMUNICACIÓN MODBUS	

x3

MININO REQUERIMIENTO PLC:

ENTRADAS DIGITALES	2
SALIDAS DIGITALES	11
ENTRADAS ANALOGICAS DE 4 A 20mA	2
SALIDA ANALOGICA	1
COMUNICACIÓN MODBUS	



SENSOR PARA INUNDACION DE PISOS	1					
MONITOREO DE UNIDADES MANEJADORAS DE AIRE						
SENSOR DE CORRIENTE	1					
SENSOR DE TEMPERATURA AMBIENTE			1			
CONTROL DE VALVULAS DE 2 VIAS					1	
CONTROL ON/OFF UNIDADES MANEJADORAS DE AIRE		1				
TERMOSTATO DE UNIDADES MANEJADORAS DE AIRE						
SENSOR DE TEMPERATURA TIPO RTD 150mm			1			
TOTAL E/S	2	1	2	0	1	
PLANO 12: PISO 8						
MEDICION DE CONSUMO DE AGUA HELADA EN OFICINA						
SONDA DE TEMPERATURA			0			
FLUJOMETRO DE 2" PARA FACTURACION DE AGUA			0			
DETECCION DE INUNDACION DE PISOS						
SENSOR PARA INUNDACION DE PISOS	1					
MONITOREO DE UNIDADES MANEJADORAS DE AIRE						
SENSOR DE CORRIENTE	1					
SENSOR DE TEMPERATURA AMBIENTE			1			
CONTROL DE VALVULAS DE 2 VIAS					1	
CONTROL ON/OFF UNIDADES MANEJADORAS DE AIRE		1				
TERMOSTATO DE UNIDADES MANEJADORAS DE AIRE						
SENSOR DE TEMPERATURA TIPO RTD 150mm			1			
TOTAL E/S	2	1	2	0	1	
PLANO 13: PISO 9						
MEDICION DE CONSUMO DE AGUA HELADA EN OFICINA						
SONDA DE TEMPERATURA			0			
FLUJOMETRO DE 2" PARA FACTURACION DE AGUA			0			
DETECCION DE INUNDACION DE PISOS						
SENSOR PARA INUNDACION DE PISOS	1					
MONITOREO DE UNIDADES MANEJADORAS DE AIRE						
SENSOR DE CORRIENTE	1					

MININO REQUERIMIENTO PLC:	
ENTRADAS DIGITALES	2
SALIDAS DIGITALES	1
ENTRADAS ANALOGICAS DE 4 A 20mA	2
SALIDA ANALOGICA	1
COMUNICACIÓN MODBUS	

MININO REQUERIMIENTO PLC:	
ENTRADAS DIGITALES	2
SALIDAS DIGITALES	1
ENTRADAS ANALOGICAS DE 4 A 20mA	2
SALIDA ANALOGICA	1
COMUNICACIÓN MODBUS	

MININO REQUERIMIENTO PLC:	
---------------------------	--



SENSOR DE TEMPERATURA AMBIENTE			1		
CONTROL DE VALVULAS DE 2 VIAS					1
CONTROL ON/OFF UNIDADES MANEJADORAS DE AIRE		1			
TERMOSTATO DE UNIDADES MANEJADORAS DE AIRE					
SENSOR DE TEMPERATURA TIPO RTD 150mm			1		
TOTAL E/S	2	1	2	0	1
PLANO 14: PISO 10 Y 11					
MEDICION DE CONSUMO DE AGUA HELADA EN OFICINA					
SONDA DE TEMPERATURA			0		
FLUJOMETRO DE 2" PARA FACTURACION DE AGUA			0		
CONTROL DE TABLEROS DE ILUMINACION					
SALIDAS A UTILIZAR PARA EL CONTROL ON/OFF		24			
DETECCION DE INUNDACION DE PISOS					
SENSOR PARA INUNDACION DE PISOS	1				
MONITOREO DE UNIDADES MANEJADORAS DE AIRE					
SENSOR DE CORRIENTE	1				
SENSOR DE TEMPERATURA AMBIENTE			1		
CONTROL DE VALVULAS DE 2 VIAS					1
CONTROL ON/OFF UNIDADES MANEJADORAS DE AIRE		1			
TERMOSTATO DE UNIDADES MANEJADORAS DE AIRE					
SENSOR DE TEMPERATURA TIPO RTD 150mm			1		
TOTAL E/S	2	25	2	0	1
PLANO 15: PISO 12					
MEDICION DE CONSUMO DE AGUA HELADA EN OFICINA					
SONDA DE TEMPERATURA			0		
FLUJOMETRO DE 2" PARA FACTURACION DE AGUA			0		
DETECCION DE INUNDACION DE PISOS					
SENSOR PARA INUNDACION DE PISOS	1				
MONITOREO DE UNIDADES MANEJADORAS DE AIRE					
SENSOR DE CORRIENTE	1				
SENSOR DE TEMPERATURA AMBIENTE			1		

ENTRADAS DIGITALES	2
SALIDAS DIGITALES	1
ENTRADAS ANALOGICAS DE 4 A 20mA	2
SALIDA ANALOGICA	1
COMUNICACIÓN MODBUS	

	x2
MININO REQUERIMIENTO PLC:	
ENTRADAS DIGITALES	2
SALIDAS DIGITALES	25
ENTRADAS ANALOGICAS DE 4 A 20mA	2
SALIDA ANALOGICA	1
COMUNICACIÓN MODBUS	

MININO REQUERIMIENTO PLC:	
ENTRADAS DIGITALES	2

CONTROL DE VALVULAS DE 2 VIAS					1
CONTROL ON/OFF UNIDADES MANEJADORAS DE AIRE		1			
TERMOSTATO DE UNIDADES MANEJADORAS DE AIRE					
SENSOR DE TEMPERATURA TIPO RTD 150mm			1		
TOTAL E/S	2	1	2	0	1
PLANO 16: AZOTEA					
MONITOREO DE GRUPO ELECTROGENO					
MONITOREO DE BOMBAS SECUNDARIAS					
SENSOR DE CORRIENTE	3				
SALIDA PARA CONTROL ON/OFF		3			
SALIDA CONTROL VARIADOR					3
MONITOREO DE BOMBAS PRIMARIAS					
SENSOR DE CORRIENTE	3				
SALIDA PARA CONTROL ON/OFF		3			
MONITOREO DE BOMBAS DE CONDENSACION					
SENSOR DE CORRIENTE	3				
SALIDA PARA CONTROL ON/OFF		3			
MONITOREO DE BOMBAS DE AGUA HELADA					
CONTROL ON/OFF		2			
ESTATUS DE CHILER	2				
Medición de BTU en salida de chiller					
Temperatura de suministro			4		
Temperatura de retorno			4		
Presión diferencial entre suministro y retorno de agua helada			2		
Falla general	2				
ALARMA	2				
MONITOREO Y CONTROL DE BOMBAS DE TORRE DE ENFRIAMIENTO					
DETECCION DE NIVEL ALTO DE AGUA	2				
ESTATUS DE TORRE	2				
CONTROL DE VARIADOR DE FRECUENCIA					2
TEMPERATURA DEL EXTERIOR DE LA TORRE			2		
TEMPERATURA DEL AGUA EN LA TORRE			2		

SALIDAS DIGITALES	1
ENTRADAS ANALOGICAS DE 4 A 20mA	2
SALIDA ANALOGICA	1
COMUNICACIÓN MODBUS	



MONITOREO DE VENTILADORES DE PRESURIZACION DE ESCALERAS					
VENTILADOR OPERANDO (DETECTOR DE PRESION DIFERENCIAL) PRESOST.	4				
INTEGRACION DE MEDIDORES DE CONSUMO DE ENERGIA EN LOCALES					
MEDICION DE CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA (POR COMUNICACIÓN)					
MONITOREO DE TABLEROS ELECTRICOS GENERALES Y SUB ESTACION					
MEDICION DE TEMPERATURA EN TRANSFORMADORES					
ESTADO DE INTERRUPTOR GENERAL EN TABLEROS GENERALES					
PRESENCIA DE TENSION EN BARRAS DE TABLEROS GENERALES					
DISPARO DE INTERRUPTORES DE SALIDA					
INTEGRACION DE ANALIZADORES DE RED					
CONTROL ON/OFF DE EXTRACTORES EN SUBESTACION					
MONITOREO DE ALARMA DE ALTA TEMPERATURA EN TRANSFORMADORES					
DETECCION DE INUNDACION DE PISOS					
SENSOR PARA INUNDACION DE PISOS	4				
MONITOREO DE PARAMETROS DE CELDAS DE MEDIA TENSION					
POSICION DE INTERRUPTORES DE CELDA DE LLEGADA					
ESTADO DEL SECCIONADOR DE CELDA DE SALIDA					
MONITOREO DE INYECCION DE AIRE PARA SSHH					
SENSOR DE CORRIENTE	8				
SALIDA PARA CONTROL ON/OFF		8			
MONITOREO DE EXTRACCION DE AIRE PARA SSHH					
SENSOR DE CORRIENTE	9				
SALIDA PARA CONTROL ON/OFF		9			
	44	28	14	0	5



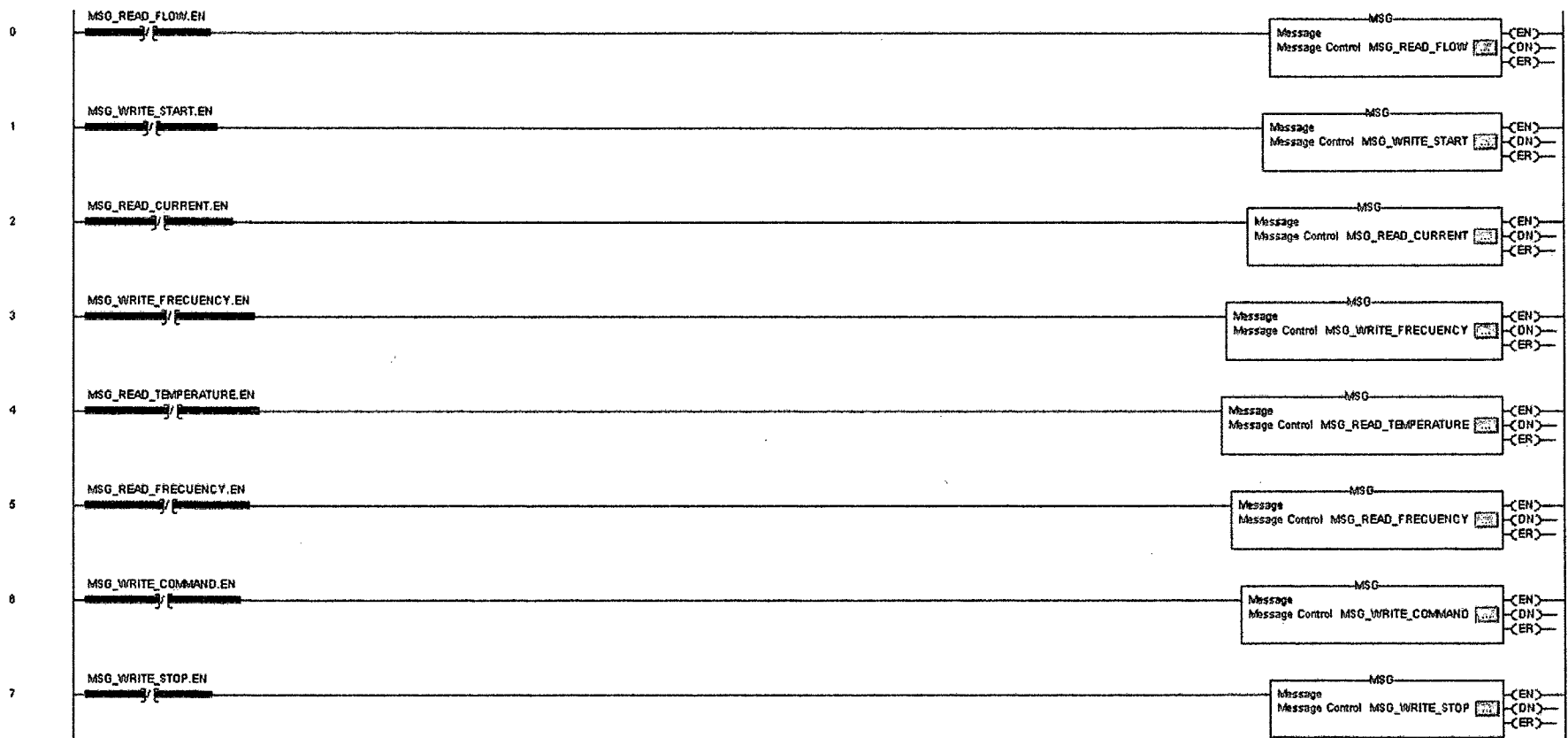


Figura 3.12: Programación Ladder del PLC Principal. Mensajería, Comunicación Ethernet.

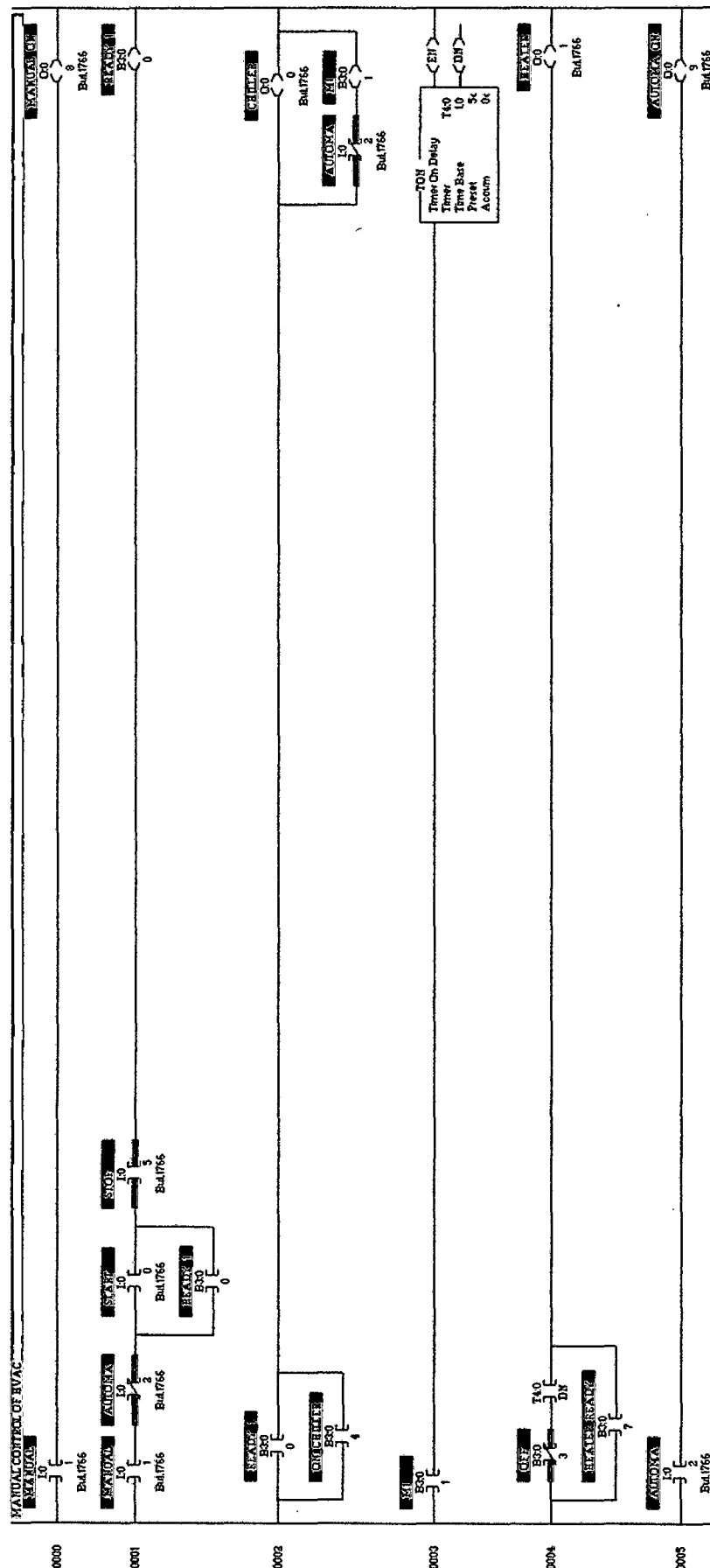


Figura 3.13: Programación Ladder del PLC secundario. Parte 01.



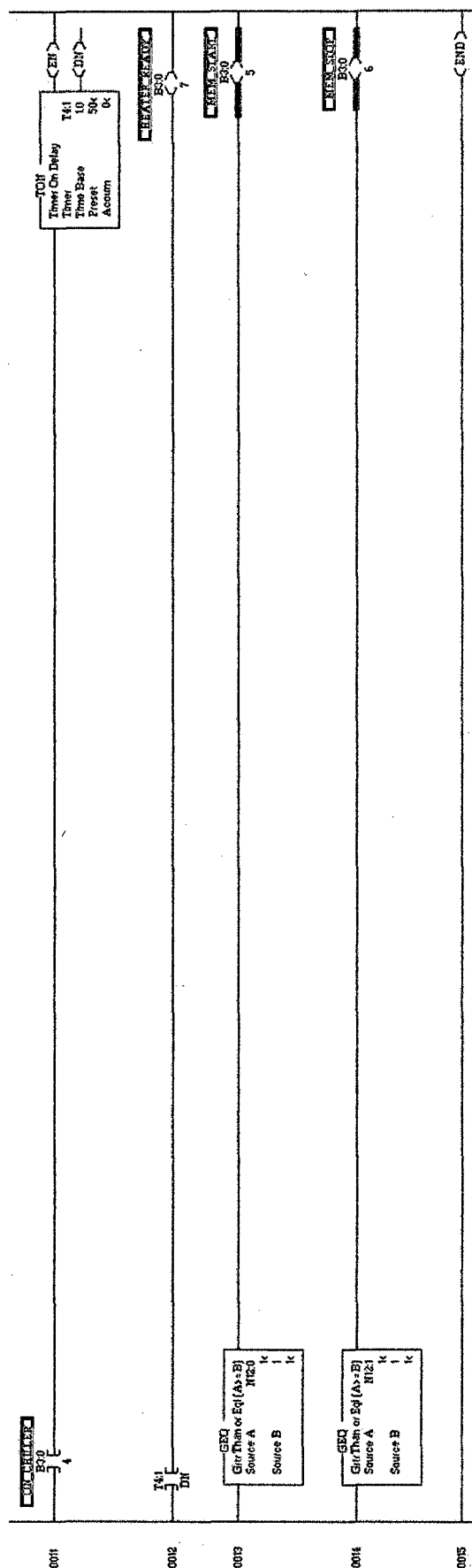


Figura 3.15: Programación Ladder del PLC secundario. Parte 03.

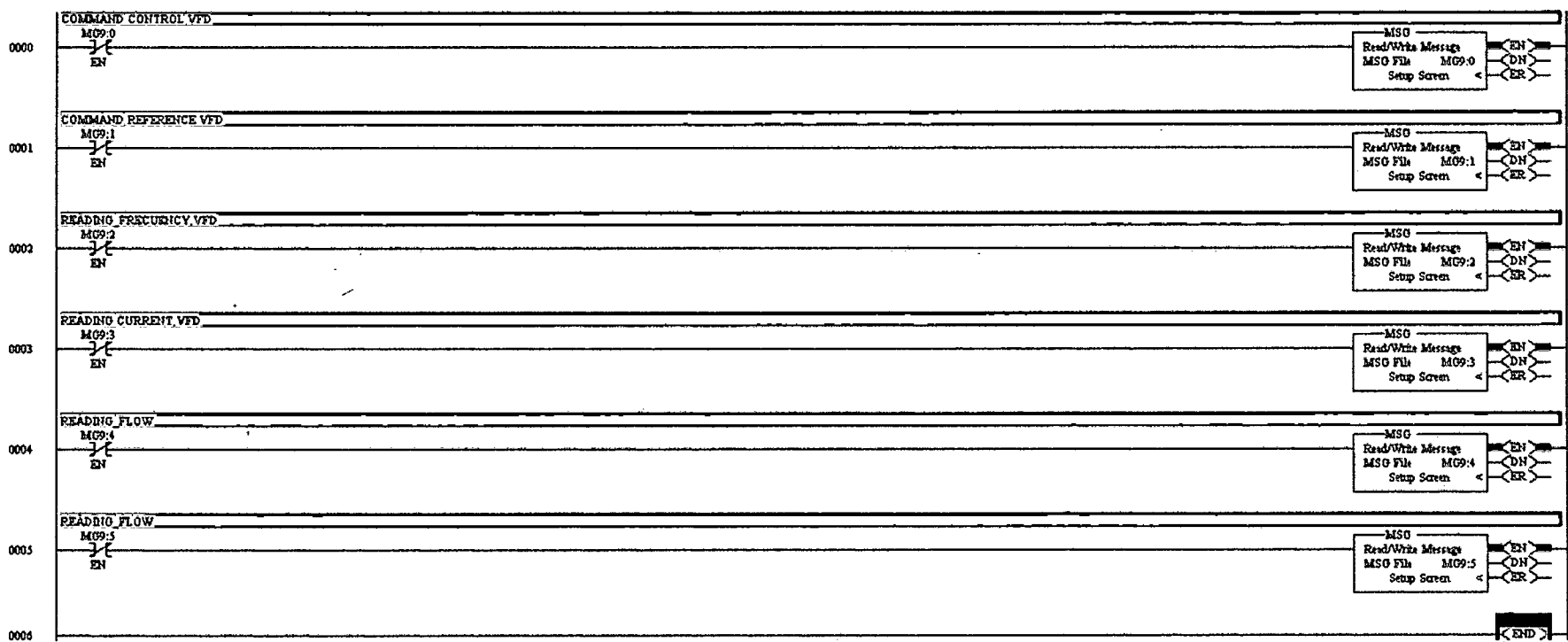


Figura 3.16: Programación Ladder del PLC secundario. Mensajería, Comunicación Modbus RS485. Parte 04.

3.3.9. Filosofía del Sistema BMS

A continuación se detallan los parámetros a monitorear o controlar según cada sistema:

1. Sistemas Mecánicos

(a) Consumo de BTU de oficinas y locales comerciales

- **Filosofía de control:** Medir la energía consumida (en BTU) por los locales para permitir la facturación acorde al consumo por parte del administrador del edificio. Se debe incluir el software o aplicación para la facturación del consumo.
- **Medición de BTU en oficinas y locales comerciales:**
 - Temperatura de agua en las tuberías de ingreso
 - Temperatura de agua en las tuberías de retorno
 - Flujo
 - Medición de BTU

(b) Sistemas de Ventilación y Extracción de aire

- **Filosofía de control:** Medir el nivel de CO en los sótanos de estacionamientos, activar ante un alto nivel de CO sensado y encender los motores de extractores de CO e inyectores de aire, el encendido de estos equipos se verifica empleando un detector de corriente.
- **Medición de nivel de CO en sótanos:**
 - Nivel de CO en tiempo real (alarma a los 50 por más de 5 minutos)Incluye el suministro de los sensores para realizar esta medición.
- **Control de Inyectores de aire y Extractores de CO en sótanos:**
 - Monitoreo de equipo energizado
 - Control On/Off
- **Control de Inyectores de aire y Extractores de servicios higiénicos en los techos:**
 - Monitoreo de equipo energizado
 - Control On/OffIncluye el suministro de los sensores y relés para realizar el monitoreo y control requerido.

- **Ventilador Presurizador de Escaleras:**

- Ventilador Operando (Detector de presión diferencial)

Incluye el suministro de los sensores y relés para realizar el monitoreo y control requerido.

(c) **Planta de Agua Helada:**

- **Filosofía de control:** La planta de agua helada tienen 02 chiller cada una y la operación de los mismos serán bajo demanda. Se podrá controlar el arranque de los chillers y se monitoreará su operación así como los estados de alarma y falla. Así mismo se medirán los parámetros de temperatura de suministro y retorno de agua helada, consumo de BTU, presión diferencial entre suministro y retorno de agua helada.

Las plantas tendrán arreglos de 04 bombas primarias, secundarias y de condensación, de las cuales siempre se tendrá una bomba en stand by. El estado de estas bombas será monitoreado por medio de switches de corriente y en caso el estado de la bomba no coincida con la orden enviada a la misma se generará una alarma y la bomba será detenida.

La planta también contará con 02 torres de enfriamiento en la cual se controlarán los parámetros de temperatura del agua, temperatura exterior, estatus de la torre, alto nivel de agua y control de la válvula de ingreso de agua. También se monitoreará la zona ante una posible inundación.

- **Bombas primarias, de condensación y de enfriamiento:**

- Monitoreo de equipo energizado
 - Control On/Off

- **Bombas secundarias:**

- Monitoreo de equipo energizado
 - Control On/Off
 - Control de Variador de frecuencia

- **Chiller:**

- Control On/Off
 - Estatus de chiller
 - Medición de BTU en salida de chiller
 - Temperatura de suministro

- Temperatura de retorno
- Presión diferencial entre suministro y retorno de agua helada
- Falla general
- Inundación de pisos
- Medición de consumo eléctrico de Chillers

Incluye el suministro de los sensores y relés para realizar el monitoreo y control requerido, el consumo de energía eléctrica se realizará integrando el analizador de red del tablero del equipo (protocolo MODBUS RTU).

• **Torres de Enfriamiento:**

- Detección de nivel alto de agua
- Estatus de torre
- Control de variador de válvula
- Temperatura del exterior de la torre
- Temperatura del agua en la torre
- Inundación en pisos

Incluye el suministro de los sensores y relés para realizar el monitoreo y control requerido, no incluye variador, se debe incluir medidor de consumo eléctrico de tablero de las torres.

(d) **Sistemas de aire acondicionado en áreas comunes:**

- **Filosofía de control:** El proyecto Mecánico del edificio considera el uso de manejadoras de aire, las cuales se controlarán en función a la temperatura sensada en el ambiente enviando las señales para la activación del ventilador dependiendo de las velocidades que cada uno de estos tengan. Ante un aumento de temperatura sobre el valor pre fijado (set point) se comandará encender el ventilador y modular la válvula de agua helada. En las salas usos internos: SUM del primer nivel del Centro Comercial, se contará además con sensores de CO2 que emitirá una alarma ante un alto nivel de CO2 registrado, además estas salas contarán con inyectores de aire en los cuales se monitorearán el estado del filtro y el flujo de ingreso de aire externo.
- **Unidades Manejadoras de aire en Áreas Comunes:**
 - Temperatura
 - Control de válvula de dos vías modulante en retorno de agua fría.
 - Temperatura en retorno de aire acondicionado.
 - Control on/off de Unidad Manejadora de aire

2. Sistemas Eléctricos

- **Filosofía de control:** Se integrarán los analizadores de red, medidores de energía y se instalarán medidores para monitorear y medir el consumo de energía eléctrica del edificio y poder identificar el consumo de los sistemas especiales (planta de agua helada, planta sanitaria) y el consumo proveniente de la iluminación, así mismo se medirá el consumo de los grupos electrógenos y se monitorearán los parámetros de: estado y carga de baterías, nivel de tanque de petróleo. El Sistema de BMS deberá poder realizar mediciones mensuales de consumo de energía, establecer metas de consumo mensual y generar alarmas al acercarse el consumo medido al valor fijado como meta. El sistema de BMS podrá emitir reportes por el consumo eléctrico de cada local comercial, considerando para cada caso el consumo de energía eléctrica directa de su propio medidor (sólo para los locales comerciales pues las oficinas contarán con sus propios medidores eléctricos) y el uso de los sistemas comunes a todo el edificio como la planta de agua helada, consumo de agua helada, planta sanitaria, uso de grupo electrógenos (en caso aplique).
- **Grupos Electrógenos:**
 - Comunicación por protocolo abierto MODBUS RTU ¹³
 - Nivel de tanque de combustible (empleando sensor de nivel listado para ambientes con riesgo de explosión)
 - Grupo funcionando
 - Baja presión de aceite
 - Baja carga en baterías
 - Grupo fuera de automático
 - Alta temperatura
 - Sobre velocidad
 - Interruptor de grupo abierto
- **Sub estación y Tableros Principales:**
 - Medición de temperatura en subestación (Sólo del centro comercial)
 - Medición de temperatura en transformadores (señal proporcionada por el transformador)

¹³ Modbus permite el control de una red de dispositivos, por ejemplo un sistema de medida de temperatura y humedad, y comunicar los resultados a un ordenador. Modbus también se usa para la conexión de un ordenador de supervisión con una unidad remota (RTU) en sistemas de supervisión adquisición de datos (SCADA).

- Estado de interruptor general en tableros generales (señal proporcionada por el tablero)
- Presencia de tensión en barras de tableros generales (señal proporcionada por el tablero)
- Disparo de interruptores de salida (señal proporcionada por el tablero)
- Integración de analizadores de red (por protocolo MODBUS RTU)
- Control on/off de extractores en sub estación.
- Monitoreo de alarma de alta temperatura en transformadores (señal proporcionada por el transformador)

Incluye el suministro de los sensores y relés para realizar el monitoreo y control requerido, salvo indicación en cada caso.

- **Celdas de Media Tensión:**

- Posición de interruptores de celda de llegada (señal proporcionada por la celda)
- Estado del seccionador de celda de salida (señal proporcionada por la celda)

- **Tableros de Iluminación:**

- Control On/Off de circuitos de iluminación.
- Detector de presencia en sótanos.
- Medición de consumo de energía eléctrica.

Incluye el suministro de los sensores y relés para realizar el monitoreo y control requerido.

- **Integración de medidores de energía de locales comerciales:**

- Medición de consumo de energía eléctrica (por protocolo MODBUS RTU)

3. Sistemas Sanitarios

- **Filosofía de control:**

El sistema de BMS podrá monitorear la operación de las bombas de agua de presión constante, de la planta sumidero, medir la presión en las líneas de la planta sanitaria, el consumo de agua de la planta de agua fría y el nivel de las cisternas de agua fría, pozo sumidero y cisterna contra incendios.

También se contará con detectores de inundación en las salas de bombas y en los servicios higiénicos de las áreas comunes.

• Planta de Agua Fría**– Cisternas de Agua Fría:**

- * Monitoreo de rebose de cisterna agua

Incluye el suministro de los sensores de nivel por ultrasonido.

– Bombas de Agua Fría:

- * Monitoreo de flujo suministro de agua potable
- * Presión en líneas

Incluye el suministro de los sensores y relés para realizar el monitoreo y control requerido, salvo indicación en cada caso.

– Válvulas principales y tuberías:

- * Medición de flujo de Agua

Incluye el suministro de los tamper switchs o dispositivos de detección de válvula requeridos.

– Cisternas de Agua Contra Incendios:

- * Nivel de cisterna contra incendios

– Cuarto de bombas y servicios higiénicos públicos:

- * Inundación en pisos

Incluye el suministro de los sensores requeridos.

– Consumo de Agua Potable:

- * Medición de consumo de agua potable

Incluye el suministro de los sensores para realizar el monitoreo.

• Planta Sumidero o Aguas Negras**– Bombas**

- * Control On/Off de bombas
- * Monitoreo estado de bombas

Incluye el suministro de los sensores y relés para realizar el monitoreo y control requerido, salvo indicación en cada caso.

– Pozo sumidero

- * Nivel de pozo sumidero

Incluye el suministro de los sensores y relés para realizar el monitoreo y control requerido, salvo indicación en cada caso.

4. Otros Sistemas

CCTV, Alarma Contra Incendios, Control de Accesos (Estos Sistemas no se incluyen en el proyecto de Tesis pero si en el proyecto en General)

Filosofía de control: Se monitoreará el estado de alarma y falla general de los sistemas mencionados.

- Alarma General
- Falla General

Los detalles de los sistemas a controlar se detallan en la Tabla 3.6: "Listado de Puntos a Controlar- SISTEMA BMS"

3.3.9.1. Estaciones de Trabajo

El sistema tendrá una estación de trabajo, en las cuales se instalará un software de monitoreo central (Este software será hecho en Factory Talk Site Edition) que permitirá monitorear, controlar e incluso modificar los parámetros del sistema dependiendo del perfil del operador.

Debiendo cumplir con al menos los siguientes requisitos:

- CPU compatible con el software de monitoreo central y con los softwares auxiliares necesarios para su correcta operación (como por ejemplo Windows, Office, SQL, Oracle y/o los utilitarios necesarios y recomendados por el fabricante del software de monitoreo central).
- Disco duro de al menos 200 GB o lo mínimo recomendado por el fabricante del software de monitoreo central.
- Procesador de al menos 2 GHz o lo mínimo recomendado por el fabricante del software de monitoreo central.
- RAM de 3GB o lo mínimo recomendado por el fabricante del software de monitoreo central.
- Tarjeta de red
- Lectora y grabadora de CD/DVD
- Monitor de al menos 19"



3.3.9.2. Software De Monitoreo Central

El sistema contará con un Software Central de Monitoreo (SCM) que estará encargado de manejar y administrar de grandes la información proveniente de los controladores, las transacciones de operador y configuración del sistema. El software será altamente intuitivo y fácil de operar, contará con pantallas en entorno gráfico que reflejan los parámetros de control y monitoreo de cada uno de los componentes del sistema.

La interface de usuario del SMC se realizará con el software Factory Talk de Allen Bradley y proveerá un sistema de navegación flexible, con un entorno gráfico altamente intuitivo amigable al usuario y con capacidad de administración de alarmas, análisis de tendencias de parámetros, reportes, gráficos, etc.

La interface realizada contará con al menos las siguientes rutinas de ahorro de energía:

- Control Remoto manual y automático.
- Programa de Partida/Parada por horas de operación, diaria/semanal, que autorice la operación de equipos y/o limite la operación de los mismos ya sea según época del año (horario) y según su ocupación.
- Partida y Parada óptima. Reset de condición de operación de equipos en base a condiciones térmicas favorables.
- Control de demanda de equipos críticos y medición de consumos por sectores.
- Rotación y/o autorización de equipos, ya sea por niveles y/o por zonas interiores y/o por zonas periféricas.

Además de contar con las siguientes opciones para realizar el control y/o monitoreo de sistemas:

- Se podrá ver en una pantalla gráfica, con menús interactivos, las zonas y controles descritos en una PC dedicada
- Se podrá ver todas las tendencia de tensión, frecuencia (en el caso de los sistemas eléctricos) o parámetros que tenga cada sistema.
- Se podrá ver históricos de parámetros de los distintos equipos

- Se podrá ver el historial de alarmas y registros
- Se podrá poner horarios de operación, a fin de controlar la máxima demanda
- Se podrán leer todos los parámetros de los relee de tensión, de medición, etc, a través de los controladores de integración, control o monitoreo.
- Cambiar rápida y fácilmente de vistas tabulares a vistas gráficas.

El software contará con protección de acceso al mismo por passwords diferenciando a tipos de usuarios con el fin de limitar las funciones, accesos a información y capacidad de modificaciones del sistema o sus bases de datos.

Se contará con al menos 04 niveles de acceso que tendrán como mínimo las siguientes características:

- Nivel 1: Monitoreo de los Sistemas Presentes.
- Nivel 2: Nivel 1 + Modificaciones básicas del Operador
- Nivel 3: Nivel 2 + Modificación de Bases de Datos
- Nivel 4: Nivel 3 + Generación de Bases de Datos, edición general

a) Configuración del Sistema Scada

El sistema de supervisión se encuentra ubicado en el sótano 1 del Edificio en la sala de control principal, la cual permite al operador monitorear las variables de control durante el proceso, así como controlar los Sistemas Lumínicos y de Climatización. Este sistema está desarrollado en Factory Talk Site Edition y cuenta con múltiples ventanas de procesos y una barra de navegación.

- Barra de Navegación

Esta barra cuenta con un área dedicada a presentar un selector de modo AUTOMATICO Y MANUAL, un área que muestra el usuario y el acceso que posee este al ingresar al sistema de control y los respectivos botones para poder acceder a las diferentes ventanas que se van a presentar en el ambiente del proceso. También se encuentran dos botones los cuales se encargan de conectar, desconectar y registrar en la base de datos los parámetros del proceso que se desea, de acuerdo al criterio que se maneja en la empresa existen tres tipos de usuarios que pueden ingresar al proceso: operación, supervisión y mantenimiento.

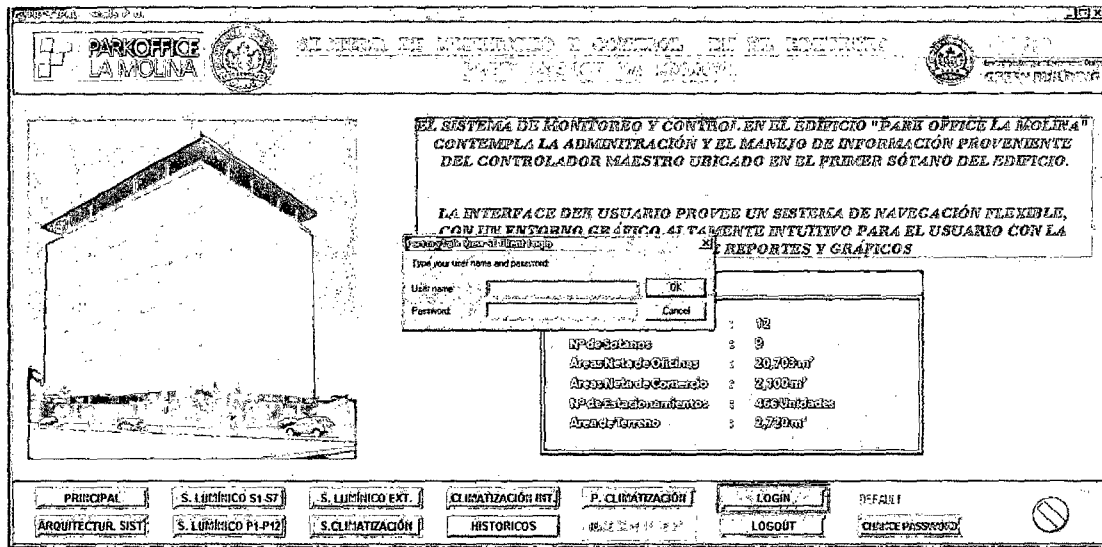


Figura 3.17: Interfaz del Sistema Scada

En el nivel de usuarios de operación, solo se permite acceder a accionar el Sistema de Climatización en modo automático, y el monitoreo de los Sistemas Lumínicos, no se permite accionar de manera manual los diferentes elementos de control, registrar en la base de datos cualquier valor que se desea, ver los datos la administración de usuarios e históricos.

En el nivel de usuario de mantenimiento se permite acceder a las ventanas restringidas, Arquitectura del Sistema, Sistema de Climatización de manera automática y manual y registrar cualquier valor en la base de datos; no se permite la administración de usuarios, históricos y ver los datos registrados.

En el nivel de usuarios de supervisión se permite acceder a todas las ventanas restringidas, acceder y controlar los Sistemas Lumínicos y Climatización de manera automática y manual, registrar cualquier valor en la base de datos, administración de usuarios y ver los datos registrados. Solo si se ha ingresado con cualquiera de estos usuarios se puede acceder a la navegación entre las ventanas de lo contrario se muestra una ventana de seguridad y las restricción de todo el sistema.

- Ventana de Procesos

Dentro del área de procesos, existen varias ventanas de navegación en la cuales se muestran las diferentes zonas que posee el Edificio, y que se describen a continuación:

- Ventana Principal

Es la primera ventana que se muestra cuando se inicia la aplicación en Factory Talk Site Edition, en ella se muestra el menú de opciones de control y monitoreo de los Sistemas Lumínicos y Climatización, así como una breve descripción del Edificio "Park-Office La Molina".

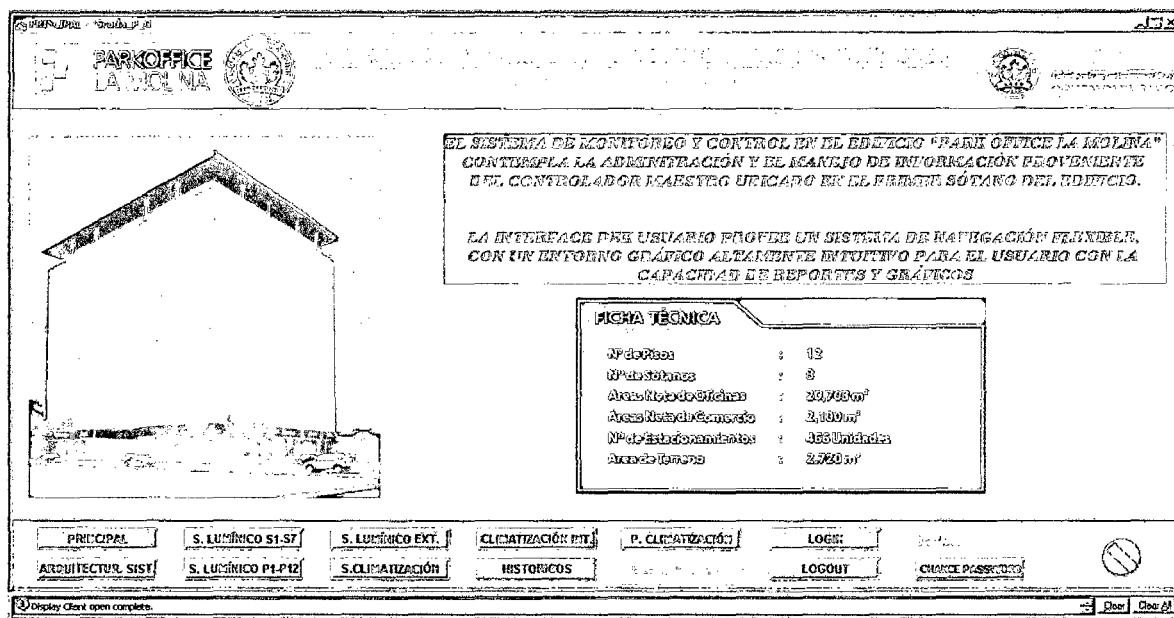


Figura 3.18: Ventana Principal del Sistema Scada

- Ventana Arquitectura del Sistema

Esta ventana muestra la arquitectura del Sistema diseñado para ser implementado en el Edificio. Todo el Sistema de Automatización será controlado por un controlador Compact Logix de la marca Allen Bradley que estará ubicado en el sótano 1, en el cuarto de Supervisión, siendo este el controlador Maestro. Además se presentan controladores esclavos Micro Logix 800 Y 1400 los cuales serán ubicados en cada piso del edificio.

La tercera jerarquía son los sensores y transmisores presentes en el diseño de control los cuales presentan comunicación en protocolo abierto (Modbus, Ethernet TCP/IP, CANopen). Además presenta una estación de trabajo en la cual se instalará el Sistema de Supervisión Scada que permitirá el Monitoreo de los Sistemas Lumínicos y de Climatización.

La comunicación entre la estación de trabajo y el controlador Maestro será a través de protocolo ethernet TCP/IP. Así mismo la comunicación entre el controlador Maestro y los controladores esclavos será a través de mensajería (MSG) ethernet TCP/IP.

Para comunicar los transmisores y sensores presentes con los controladores esclavos se utilizará protocolo Modbus RS485, Ethernet TCP/IP, CANOpen y Bluetooth.

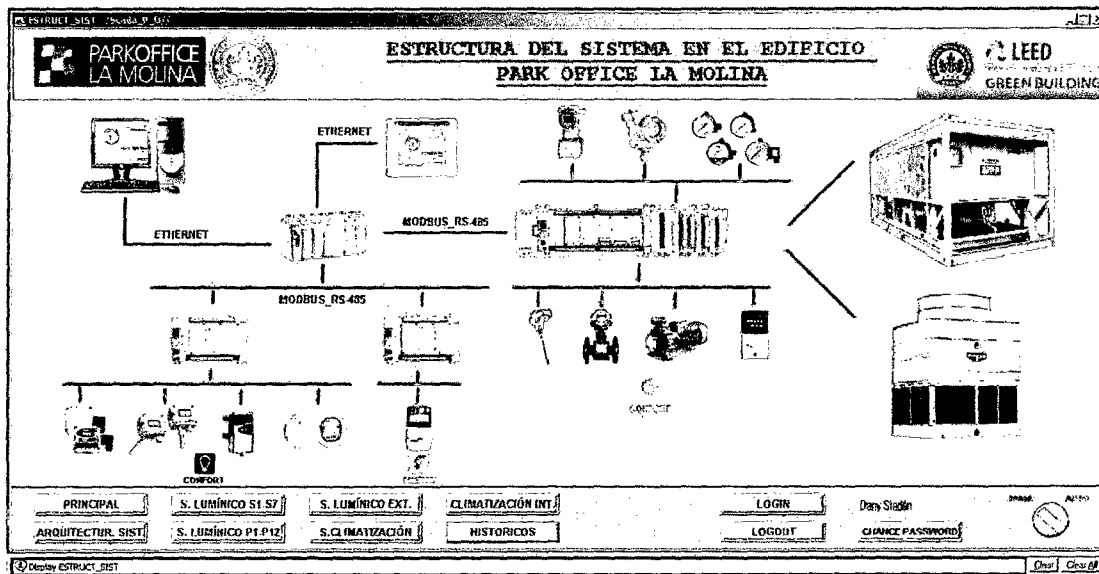


Figura 3.19: Ventana Arquitectura del Sistema

- Ventana Sistema Lumínico Sótano 1 al 7

Esta ventana muestra el monitoreo y control general de las luminarias presentes en los sótanos 1 al 7, así mismo presenta botoneras para el monitoreo por sótano, así como el nivel de luxes y sensores de movimiento en los sótanos.

El control puede ser automático o Manual de acuerdo a los estándares o decisiones del Operador.

- Ventana Sistema Lumínico Piso 1 al 12

Esta ventana muestra el monitoreo y control general de las luminarias presentes en los pisos 1 al 12, así mismo presenta el monitoreo del nivel de luxes y sensores de movimiento presentes en los pisos del edificio.

El control puede ser automático y Manual de acuerdo a los estándares o decisiones del Operador.

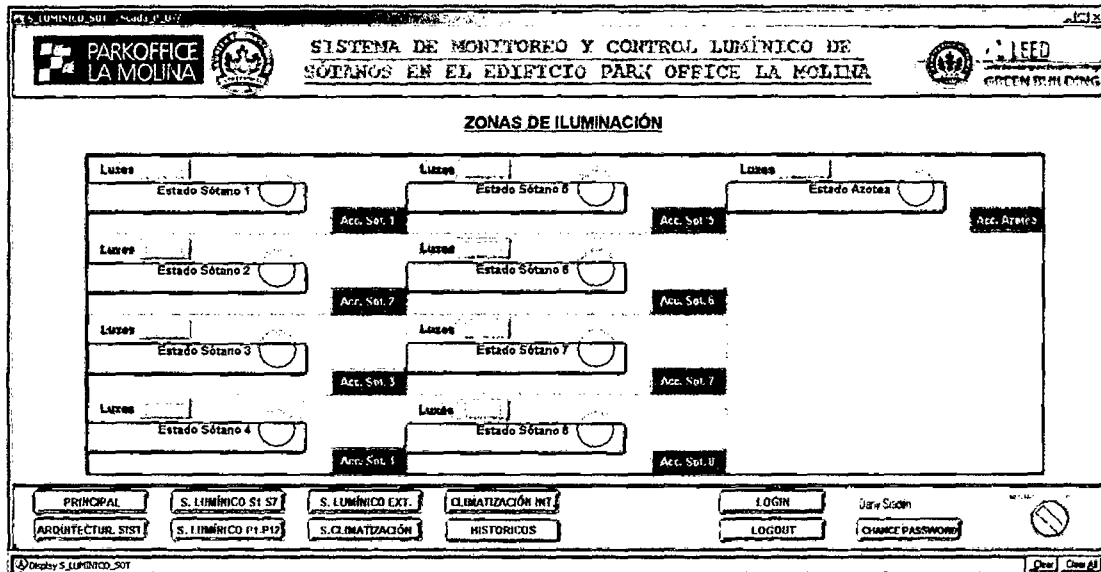


Figura 3.20: Ventana Sistema Lumínico del Sótano 1 al 7

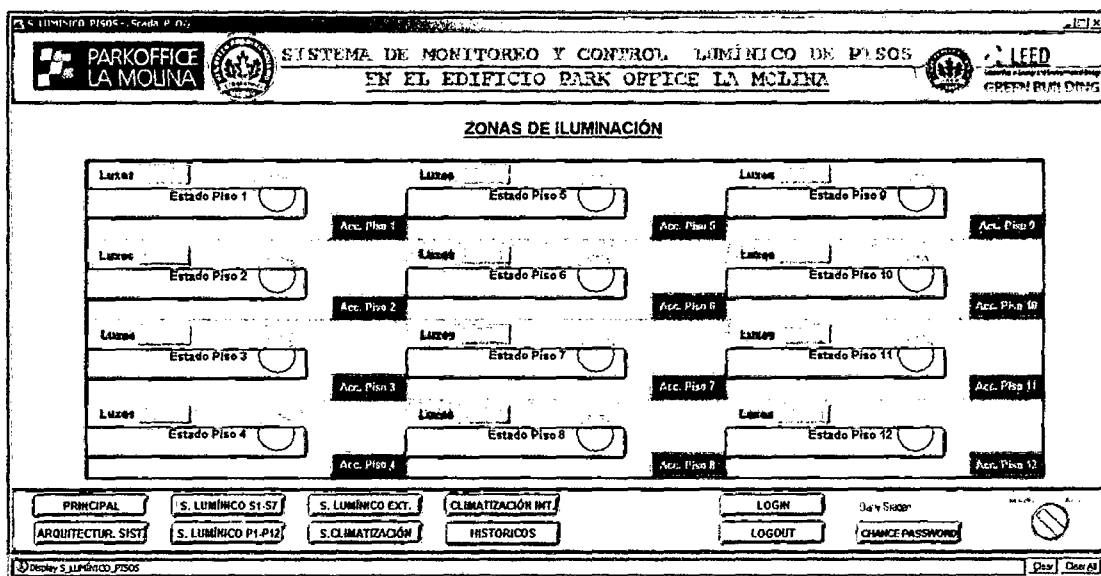


Figura 3.21: Ventana Sistema Lumínicos de los Pisos 1 al 12

- Ventana Sistema Lumínico Exterior

Esta ventana muestra el monitoreo y control de las luminarias exteriores del edificio.

- Ventana Sistema de Climatización

Esta ventana muestra el monitoreo y control del Sistema de Climatización exterior ubicado en la azotea del Edificio.

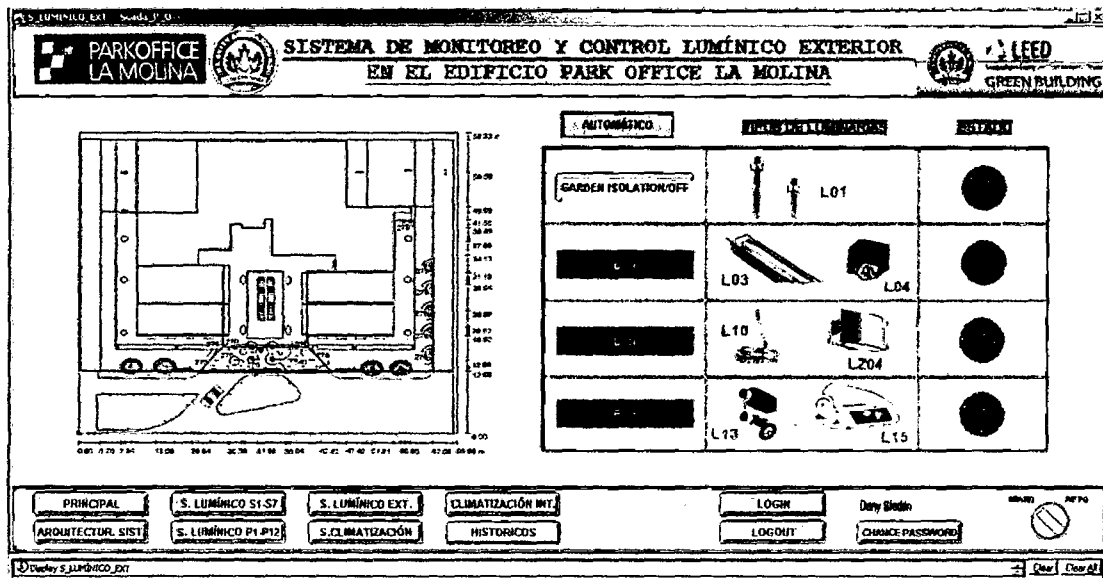


Figura 3.22: Ventana Sistema Lumínicos Exterior

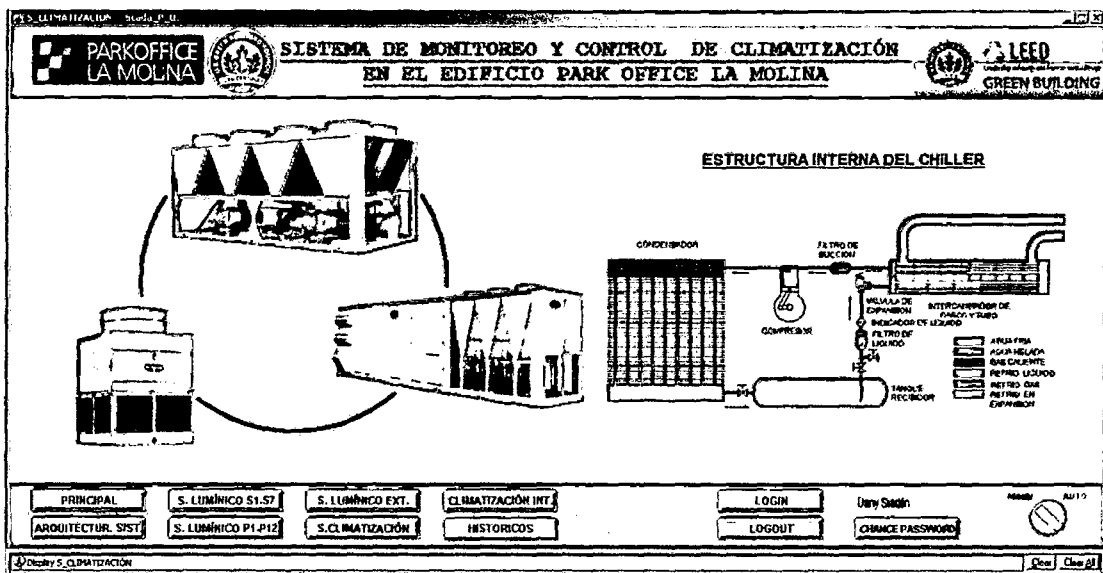


Figura 3.23: Ventana Sistema Climatización

- Ventana Sistema de Climatización Interior

Esta ventana muestra el monitoreo y control del Sistema de Climatización interior. El control y supervisión de las torres de enfriamiento; así como el control de las variables presentes en el proceso (temperatura, flujo). En este sistema se realiza un control PID para obtener una temperatura de Set Point de 5-8 °C.

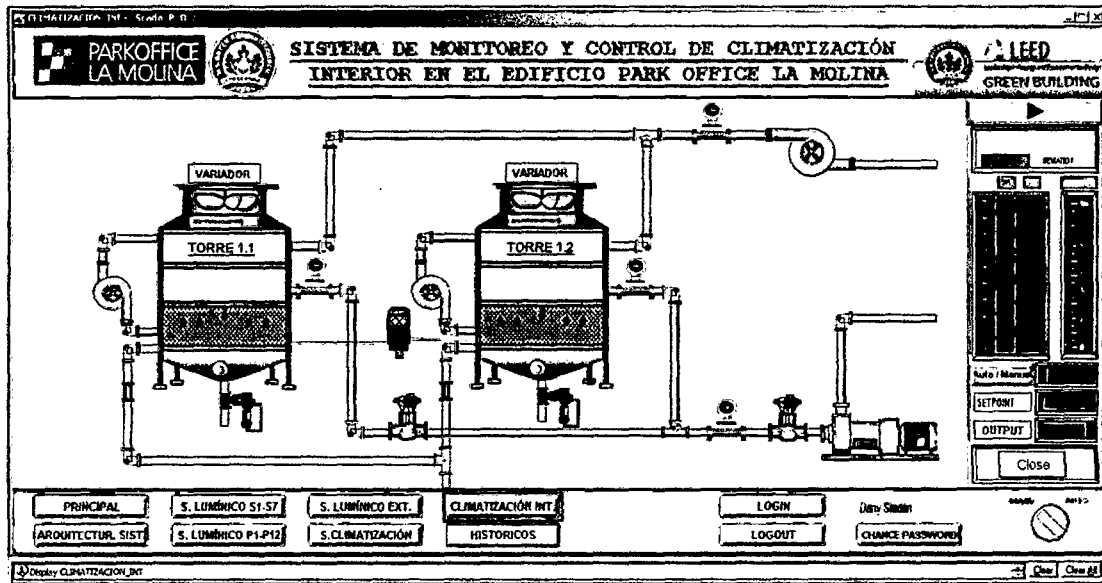


Figura 3.24: Ventana Sistema Climatización Interior

- Ventana de Históricos

Es necesario contar con un registro de los parámetros de las variables de nivel, temperatura, consumo energético, presión y flujo tanto de Chiler, UMAS, Oficinas, por lo que se tiene un histórico para estas variables. El tiempo máximo que se tiene este registro es de 7 días y se pueden mostrar hasta 08 variables simultáneamente.

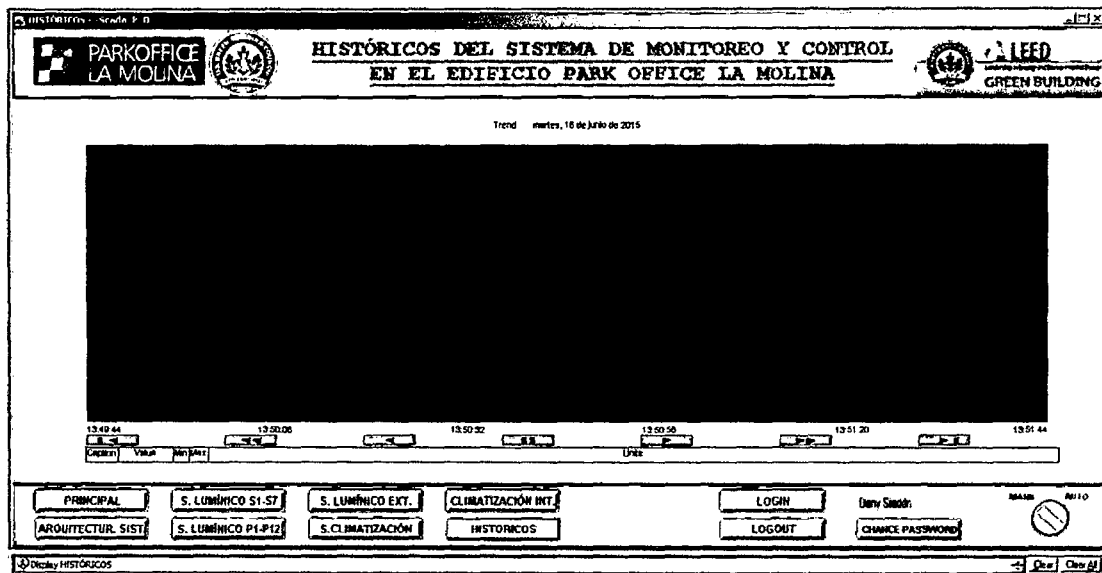


Figura 3.25: Ventana Históricos

3.3.10. Cables y Canalizaciones

El sistema proveerá el ducteado necesario para la instalación del sistema de acuerdo a los planos. La mayor parte de las tuberías serán de material PVC-SAP e instaladas empotradas en techos, paredes o pisos respetando las indicaciones del Código Nacional de Electricidad para las tuberías empotradas, se emplearán tuberías de 3/4" de diámetro dadas las características constructivas del edificio, en caso que por las características de la solución de cada postor se requieran más tuberías que las indicadas en planos, se emplearán también tuberías de 3/4" (en caso sean empotradas).

En donde no sea posible instalar tuberías empotradas se instalarán tuberías adosadas conduit metálicos EMT (cuando sean de instalación en interiores) y RMC (cuando sean de instalación en exteriores), las tuberías conduit metálicas a emplear en el proyecto serán listadas UL, así como sus accesorios de instalación.

La cantidad y tipo de cables a emplear en el proyecto contará con chaqueta y recubrimiento de tipo LSZH acorde a la reglamentación actual.

3.3.11. Pruebas, Entrega y Puesta en Marcha del Sistema

Se realizarán las pruebas y puesta en marcha acorde a las recomendaciones del fabricante, estas pruebas incluirán:

- Pruebas operativas de la interacción con los sistemas a controlar, incluyendo la visualización en el software gráfico del cambio de variables en tiempo real y el control desde el mismo gráfico.
- Configuración y Extracción de reportes.
- Check list de operatividad de los dispositivos instalados.
- Check list de cumplimiento de las funcionalidades requeridas para el control y monitoreo de cada sistema.
- Pruebas de continuidad e integridad de cables.

Como parte de la entrega del sistema se entregarán los planos del proyecto en versión AS-BUILT en formato electrónico (AUTOCAD) e impreso adjuntado en el Proyecto de Tesis.

3.4. Modelo Matemático

En esta subsección el modelo del Sistema de Aire acondicionado es desarrollado. Con pocas modificaciones este modelo puede ser usado para simular otros Sistemas de Aire acondicionado en otros edificios. El modelo dinámico para la el Sistema de Aire acondicionado involucra modelo de la Zona a Climatizar, modelo del Humidificador, modelo del Sensor, modelo del ventilador, modelo de las Unidades Manejadoras de Aire, modelo del ducto de ventilación y modelo del Serpentin de Enfriamiento. El desarrollo dinámico de cada uno de estos componentes es descrito a continuación:

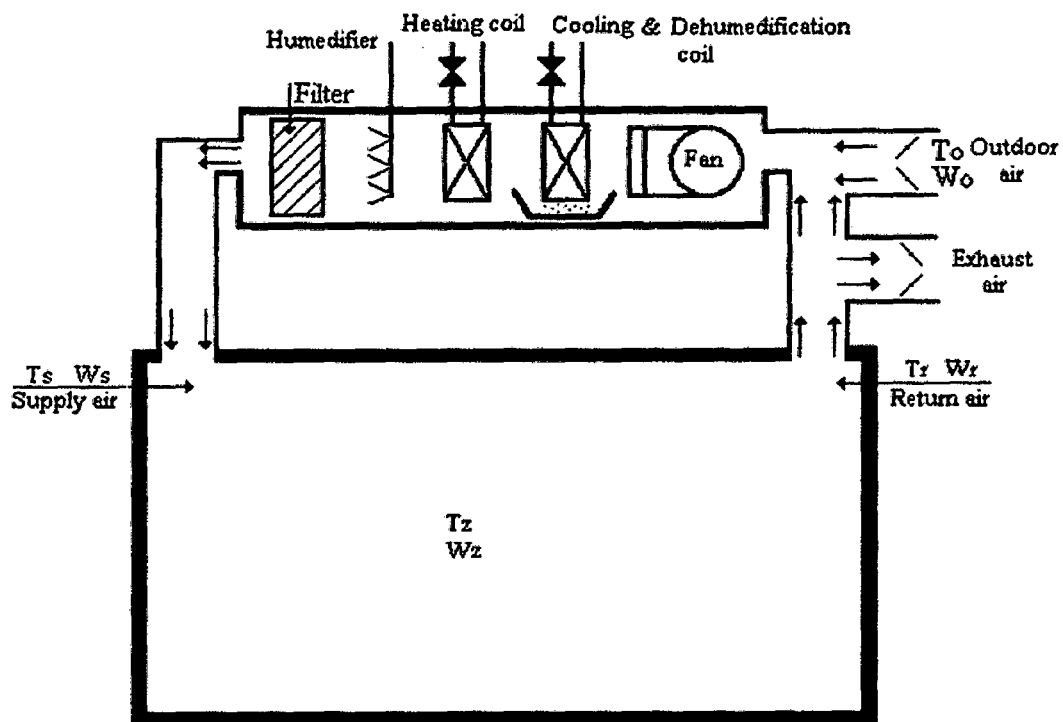


Figura 3.26: Diagrama Esquemático de la Zona

Nomenclatura

A_r Área del Techo $9m^2$

A_{w1} Área de la Pared (Este, Oeste) $9m^2$

A_{w2} Área de la Pared (Sur, Norte) $12m^2$

C_{ah} Capacitancia térmica global de la unidad de tratamiento de aire 4.5 kJ/C

C_d Calor específico del material del conducto $0.4187 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$

C_h Capacitancia térmica global del humidificador $0.63 \text{ kJ/}^\circ\text{C}$

C_{pa} Calor Específico del Aire $1.005 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$

- C_{pw} Calor Específico del Agua 4.1868 kJ/kg°C
 C_r Capacitancia Térmica Global del Techo 80 kJ/°C
 C_{w1} Capacitancia Térmica Global de la pared (Este, Oeste) 70 kJ/°C
 C_{w2} Capacitancia Térmica Global de la pared (Sur, Norte) 60 kJ/°C
 C_z Capacitancia Térmica Global de la zona 47.1 kJ/°C
 $e(t)$ error
 f_{sa} Tasa de flujo volumétrico del suministro de Aire 0.192 m³/s
 f_{sw} Tasa de flujo de agua 8.02 · 10⁻⁵ m³/s
 $h(t)$ Tasa de humedad del aire producida en el humidificador
 h_i Coeficiente de transferencia de calor en el interior del conducto 8.33 W/m²°C
 h_o Coeficiente de transferencia de calor en el ambiente 16.6 W/m²°C
 M_d Masa del Modelo del ducto 6.404 kg/m
 m_a Tasa de flujo másico de la corriente de aire 0.24 kg/s
 m_m Tasa de flujo másico de la mezcla de aire 0.24 kg/s
 m_o Tasa de flujo másico del aire exterior 0.12 kg/s
 m_r Tasa de flujo másico del aire recalculado 0.12 kg/s
 m_t Masa del Material del Tubo kg/m
 $P(t)$ Velocidad de Evaporación de los Ocupantes 0.08 kg/h
 $q(t)$ Calor ganado por los Ocupados y lámparas (W)
 T_{co} Temperatura del aire fuera de la bobina (°C)
 T_h Temperatura del aire de suministro (en humidificador)(°C)
 T_{in} Temperatura en el ducto °C
 T_m Temperatura del aire fuera de la UMA (°C)
 T_{me} Temperatura de la Mezcla (°C)
 T_o Temperatura del Medio 32°C (Summer) 5°C (Winter)
 T_{out} Temperatura de salida del ducto T_r Temperatura del Techo (°C)
 T_s Temperatura de suministro de Aire a la Zona (°C)
 T_{se} Temperatura de salida del Sensor (°C)
 T_{si} Temperatura del aire de suministro (para el humidificador) (°C)
 T_{wo} Temperatura de retorno del Agua 10°C
 T_{wi} Temperatura del agua de Alimentación (°C)
 T_{w1} Temperatura de la Pared (Este, Oeste) (°C)
 T_{w2} Temperatura de la Pared (Sur,Norte) (°C)
 T_z Temperatura de la Zona (°C)
 U_{w1} Coeficiente Global de Transferencia de Calor de la Pared (Este, Oeste) 2 W/m²°C



U_{w2} Coeficiente Global de Transferencia de Calor de la Pared (Sur, Norte) $2 \text{ W/m}^2\text{°C}$

U_r Coeficiente Global de Transferencia de Calor del Techo $1 \text{ W/m}^2\text{°C}$

UA Factor del area de transmitancia total de la unidad de tratamiento de aire 0.04 kJ/s°C

V_a Volumen de la unidad de tratamiento de aire 2.88 m^3

V_h Volumen de humidificador 1.44 m^3

V_z Volumen de la Zona 36 m^3

W_{co} Relación de Humedad del Aire fuera de la Bobina en kg/kg (dry air)

W_h Relación de Humedad del Aire de suminitro (Humidificador) kg/kg (dry air)

W_m Relación de Humedad del Aire de la caja de mezcla kg/kg (dry air)

W_o Relación de humedad exterior 0.02744 kg (verano) 0.002 kg (Invierno)

W_s Relación de Humedad del Aire suministrado en kg/kg (dry air)

W_z Relación de Humedad en la Zona en kg/kg (dry air)

$\alpha_h (UA)_h$ Factor de área de transmisión global del humidificador 0.0183 kJ/s°C

τ_{se} Constante de tiempo del sensor (segundos)

ρ_a Densidad del Aire 1.25 kg/m^3

ρ_w Densidad del Agua 998 kg/m^3

3.4.1. Representación en Ecuaciones Diferenciales

a) Modelo de la Zona

Dado que la zona es un sistema térmico complejo, una aproximación teórica completa de la formulación de la modelo es poco práctico. El modelo de la zona se caracteriza por tres variables de estado: la temperatura de la zona (T_z), la temperatura interior de las paredes (T_{w1} , T_{w2}), y la humedad de la zona (W_z). El aire en la zona se asume que será totalmente mezclado, de modo que la distribución de temperatura de la zona es uniforme y la dinámica de la zona se puede expresar en un modelo de capacidad agrupado. Además, el efecto de la pared Norte en la temperatura de la zona se supone que es el mismo que el efecto de la pared Sur y el efecto de la pared Este también se supone que es el mismo que el efecto de la pared Oeste. La planta no tiene efecto en la temperatura de la zona. La densidad del aire se supone que es constante y no está influida por el cambio de la relación de temperatura y humedad de la zona. Las pérdidas de presión en toda la zona y en la sección de mezcla se desprecian. Las personas, las luces y las condiciones meteorológicas extremas son las entradas no controladas. Bajo los supuestos anteriores, las ecuaciones que gobiernan el balance de energía y el balance de masa de la zona de arriba son:

$$\rho_z \cdot \frac{dT_z}{dt} = f_{sa} \cdot \rho_a \cdot C_{pa} \cdot (T_s - T_z) + 2 \cdot U_{w1} \cdot A_{w1} \cdot (T_{w1} - T_z) + U_r \cdot A_r \cdot (T_r - T_z) + 2 \cdot U_{w2} \cdot A_{w2} \cdot (T_{w2} - T_z) + q(t) \quad (3.2)$$

$$C_{w1} \cdot \frac{dT_{w1}}{dt} = U_{w1} \cdot A_{w1} \cdot (T_z - T_{w1}) + U_{w1} \cdot A_{w1} \cdot (T_o - T_{w1}) \quad (3.3)$$

$$C_{w2} \cdot \frac{dT_{w2}}{dt} = U_{w2} \cdot A_{w2} \cdot (T_z - T_{w2}) + U_{w2} \cdot A_{w2} \cdot (T_o - T_{w2}) \quad (3.4)$$

$$C_r \cdot \frac{dT_r}{dt} = U_r \cdot A_r \cdot (T_z - T_r) + U_r \cdot A_r \cdot (T_o - T_r) \quad (3.5)$$

$$V_z \cdot \frac{dW_z}{dt} = f_{sa} \cdot (w_s - w_z) + \frac{p(t)}{\rho_a} \quad (3.6)$$

Eq. (3.2) establece que el cambio en la tasa de energía en la zona es igual a la diferencia entre la energía transferido a la zona ya sea por conducción o convección y la energía desplazadas de la zona.

En las ecuaciones (3.3) - (3.5) la tasa de cambio de la energía a través de paredes es igual a la energía transferida a través de paredes debido a diferencia de temperatura entre el aire interior y exterior. Del mismo modo, en la Ec. (3.6) el cambio en la tasa de humedad contenido en la zona es igual a la diferencia entre el vapor añadido y retirado de la zona.

b) Modelo del Humidificador

La humidificación es un proceso de transferencia de masa de vapor de agua al aire atmosférico, lo que resulta en un aumento de vapor de agua en la mezcla. Muy bajo contenido de humedad tiene efectos no deseados en el cuerpo humano. La medición y el control de la humedad en el aire es una fase importante de aire acondicionado. Las ecuaciones de balance de energía y de masas para el modelo de humidificador desarrollado por Kasahara ¹⁴ se expresan como:

$$C_h \frac{dT_h}{dt} = f_{sa} C_{pa} (T_{si} - T_h) + \alpha_h (T_o - T_h) \quad (3.7)$$

$$V_h \frac{dW_h}{dt} = f_{sa} (W_{si} - W_h) + \frac{h(t)}{\rho_a} \quad (3.8)$$

En la ecuación. (3.8), $h(t)$ es la tasa de aire húmedo que el humidificador puede producir y que es una función de la relación de humedad.

¹⁴Kasahara M, Kuzuu Y, Matsuba T, Hashimoto Y, Kamimura K, Kurosu S. Physical model of an air-conditioned space for control analysis. ASHREA Trans 2000;106 Part 2:307-17.

c) Modelo del Sensor

La función de los sensores es medir la temperatura y la humedad relativa en la zona y dar señal de realimentación al sistema de control con el fin de mejorar el rendimiento del sistema. Por simplicidad, en este trabajo se supone que el sensor es un sistema de primer orden con constante de tiempo t es igual a 1 s.

Por lo tanto, la ecuación puede escribirse directamente como:

$$T_{se}(s) = \frac{\tau_{se}}{\tau_{se}s + 1} T_{me}(s) \quad (3.9)$$

d) Modelo del Ventilador

Se elige el modelo del ventilador de primer orden, y se asume que los cambios de temperatura del aire tienen efectos despreciables sobre las propiedades físicas del aire.

Por lo tanto, el modelo de ventilador se convierte en lineal y puede ser expresada por función de transformación de primer orden. Si el motor se coloca dentro del flujo, el calor se transfiere desde el motor del ventilador al aire. Normalmente, esta transferencia de calor hace que la temperatura del aire aumente aproximadamente 1-2 °C. Tenga en cuenta que el ventilador no tiene ningún efecto sobre la relación de humedad porque no hay transferencia de masa que tiene lugar a cuando el aire que pasa a través del ventilador.

e) Modelo de las Unidades Menejadoras de Aire

La mezcla de las corrientes de aire es una práctica común en sistemas de aire acondicionado y por lo general se produce en condiciones constantes y adiabáticas. En este trabajo, se supone que no hay pérdidas por fricción que se producen a través de la sección convergente.

Las ecuaciones de balance de energía y de masas son los siguientes:

$$m_r C_{pa} T_r + m_o C_{pa} T_o = m_m C_{pa} T_m \quad (3.10)$$

$$m_r + m_o = m_m \quad (3.11)$$

Donde

$$T_m = \frac{m_r T_r + m_o T_o}{m_r + m_o} \quad (3.12)$$

$$W_m = \frac{m_r W_r + m_o W_o}{m_r + m_o} \quad (3.13)$$

f) Modelo del Ducto

El modelo transitorio desarrollado por Clark et al. ¹⁵ para una unidad de conducto se utiliza. La temperatura del aire de entrada es de T_i y la temperatura del aire de salida es T_{out} . El cambio en la tasa de la temperatura del aire es:

$$\frac{dT_{out}}{dt} = \frac{(h_i + h_o)m_a C_p}{h_i M_c C_c} (T_{in} - T_{out}) \quad (3.14)$$

g) Modelo de la bobina de enfriamiento

El serpentín de enfriamiento es un componente importante de una unidad de aire acondicionado y es la interfaz más importante entre los sistemas de distribución de aire de la planta primaria y secundaria. Cuando el aire pasa a través de la bobina, se pone en contacto con las superficies de las aletas frías y el calor se transfiere desde el aire al agua que fluye dentro de los tubos.

Debido a la importancia de la bobina de refrigeración, se han desarrollado varios modelos para estudiar sus comportamiento transitorio y sus características de respuesta. En este estudio, se adoptó el modelo transitorio de una bobina de agua enfriada desarrollado por Elmahdy ¹⁶. La temperatura del aire T_a y el radio de humedad W_a en función de la temperatura del agua T_w se aproxima mediante las siguientes ecuaciones:

$$T_a(T_w) = -0,0587(T_w)^2 + 1,773T_w + 1,1816. \quad (3.15)$$

$$W_a(T_w) = 3,2434 \cdot 10^{-5} T_w^2 - 1,7972 \cdot 10^{-5} T_w + 6,223 \cdot 10^{-3} \quad (3.16)$$

3.4.2. Representación en Laplace

El rango de validez de las ecuaciones anteriores es $T_w=5-50^\circ\text{C}$. Tomando la transformada de Laplace Ecuaciones. (3.2) - (3.6) para el modelo de zona da las siguientes ecuaciones algebraicas:

¹⁵Clark DR, Hurley CW, Hill CR. Dynamic models for HVAC system components. ASHRAE Trans 1985;91(1):737-51.

¹⁶Elmahdy AH, Mitalas GP. Simple model for cooling and dehumidifying coils for use in calculating energy requirements for buildings. ASHRAE Trans 1977;83 Part 2:103-17.

$$C_z \cdot s + \underbrace{f_{sa} \cdot \rho_a \cdot C_{pa} + 2 \cdot U_{w1} \cdot A_{w1} + U_r \cdot A_r + 2 \cdot U_{w2} \cdot A_{w2}}_{\alpha} \cdot T_z(s) = \underbrace{f_{sa} \cdot \rho_a \cdot C_{pa}}_{\beta} \cdot T_s(s) +$$

$$\underbrace{2 \cdot U_{w1} \cdot A_{w1} \cdot T_{w1}(s)}_{\gamma} + \underbrace{U_r \cdot A_r \cdot T_r(s)}_{\lambda} + \underbrace{2 \cdot U_{w2} \cdot A_{w2} \cdot T_{w2}(s)}_{\delta} + q(s) \quad (3.17)$$

$$(C_{w1} \cdot s + \underbrace{2 \cdot U_{w1} \cdot A_{w1}}_{\gamma}) \cdot T_{w1}(s) = U_{w1} \cdot A_{w1} \cdot T_z(s) + U_{w1} \cdot A_{w1} \cdot T_o(s) \quad (3.18)$$

$$(C_{w2} \cdot s + \underbrace{2 \cdot U_{w2} \cdot A_{w2}}_{\delta}) \cdot T_{w2}(s) = U_{w2} \cdot A_{w2} \cdot T_z(s) + U_{w2} \cdot A_{w2} \cdot T_o(s) \quad (3.19)$$

$$(C_r \cdot s + \underbrace{2 \cdot U_r \cdot A_r}_{\lambda}) \cdot T_r(s) = U_r \cdot A_r \cdot T_z(s) + U_r \cdot A_r \cdot T_o(s) \quad (3.20)$$

$$\Rightarrow$$

$$G_z(s) = \frac{1}{C_z(s) + \alpha}, G_{w1}(s) = \frac{1}{C_{w1}(s) + \gamma}, G_{w2}(s) = \frac{1}{C_{w2}(s) + \delta}, G_r(s) = \frac{1}{C_r(s) + 2 \cdot \lambda}$$

$$\Rightarrow$$

$$(C_z \cdot s + \alpha) T_z(s) = [\beta \cdot T_s(s) + \frac{\gamma^2}{2} \cdot G_{w1}(s) [T_z(s) + T_o(s)] + \lambda^2 \cdot G_r(s) [T_z(s) + T_o(s)] + \frac{\delta^2}{2} \cdot G_{w2}(s) [T_z(s) + T_o(s)] + q(s)]$$

$$\Rightarrow$$

$$(C_z \cdot s + \alpha) T_z(s) - [\frac{\gamma^2}{2} \cdot G_{w1}(s) + \lambda^2 \cdot G_r(s) + \frac{\delta^2}{2} \cdot G_{w2}(s)] T_z(s) = \beta \cdot T_s(s) + [\frac{\gamma^2}{2} \cdot G_{w1}(s) + \lambda^2 \cdot G_r(s) + \frac{\delta^2}{2} \cdot G_{w2}(s)] T_o(s) + q(s)$$

$$[(C_z \cdot s + \alpha) - [\frac{\gamma^2}{2} \cdot G_{w1}(s) + \lambda^2 \cdot G_r(s) + \frac{\delta^2}{2} \cdot G_{w2}(s)]] T_z(s) = \beta \cdot T_s(s) + [\frac{\gamma^2}{2} \cdot G_{w1}(s) + \lambda^2 \cdot G_r(s) + \frac{\delta^2}{2} \cdot G_{w2}(s)] T_o(s) + q(s)$$

$$T_z(s) = \frac{\overbrace{H_n(s)}^{1}}{\underbrace{(C_z \cdot s + \alpha)}_{G_{nz}(s)} \underbrace{[\frac{\gamma^2}{2} \cdot G_{w1}(s) + \lambda^2 \cdot G_r(s) + \frac{\delta^2}{2} \cdot G_{w2}(s)]}_{A(s)}} [\beta \cdot T_s(s) + [\frac{\gamma^2}{2} \cdot G_{w1}(s) + \lambda^2 \cdot G_r(s) + \frac{\delta^2}{2} \cdot G_{w2}(s)] T_o(s) + q(s)]$$

Reemplazando valores, se obtiene:

$$A(s) = \frac{9,902 \times 10^{12}s^2 + 8,405 \times 10^9s + 1,446 \times 10^6}{3,36 \times 10^{14}s^3 + 5,172 \times 10^{11}s^2 + 2,376 \times 10^8s + 31104} \quad (3.21)$$

$$H_n(s) = \frac{1}{(47100s + 334,2) - \frac{9,902 \times 10^{12}s^2 + 8,405 \times 10^9s + 1,446 \times 10^6}{3,36 \times 10^{14}s^3 + 5,172 \times 10^{11}s^2 + 2,376 \times 10^8s + 31104}} \quad (3.22)$$

$$H_n(s) = \frac{3,36 \times 10^{14}s^3 + 5,172 \times 10^{11}s^2 + 2,376 \times 10^8s + 31104}{1,583 \times 10^{19}s^4 + 1,367 \times 10^{17}s^3 + 1,741 \times 10^{14}s^2 + 7,247 \times 10^{10}s + 8,949 \times 10^6} \quad (3.23)$$

⇒ La función de Transferencia sin carga queda definida como:

$$T(s) = H_n(s) \cdot \beta \cdot T_s(s) \quad (3.24)$$

$$T(s) = \frac{241,2 \times (3,36 \times 10^{14}s^3 + 5,172 \times 10^{11}s^2 + 2,376 \times 10^8s + 31104)}{1,583 \times 10^{19}s^4 + 1,367 \times 10^{17}s^3 + 1,741 \times 10^{14}s^2 + 7,247 \times 10^{10}s + 8,949 \times 10^6} \quad (3.25)$$

$$T(s) = \frac{T_z(s)}{T_s(s)} = \frac{0,005121(s^3 + 0,001539s^2 + 7,07110^{-7}s + 9,257 \times 10^{-11})}{s^4 + 0,008635s^3 + 1,1 \times 10^{-5}s^2 + 4,579 \times 10^{-9}s + 5,655 \times 10^{-13}} \quad (3.26)$$

Otra forma de Representar la función de transferencia en función de Polos y ceros es:

$$T(s) = \frac{T_z(s)}{T_s(s)} = \frac{0,005121(s + 0,0008)(s + 0,0005143)(s + 0,000225)}{(s + 0,007192)(s + 0,0007438)(s + 0,0004781)(s + 0,0002211)} \quad (3.27)$$

El diagrama de bloques de la Zona es mostrada en la siguiente Figura, donde se observa las variables de control siendo estas la temperatura ambiente y la temperatura de entrada y las variables controladas siendo la Temperatura de la zona y la humedad de la zona:

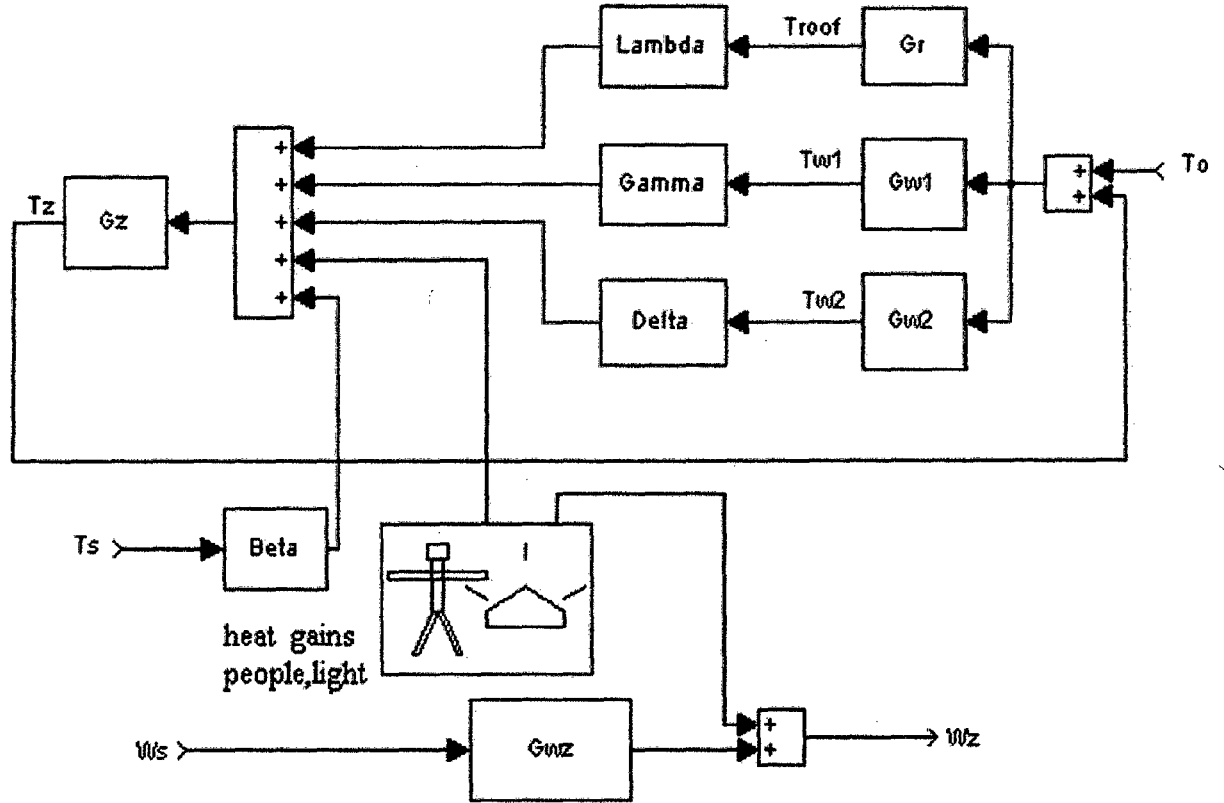


Figura 3.27: Diagrama del modelo de la Zona

3.4.3. Representación en Espacios de Estado

Sea:

$$\dot{x}(t) = A(t)x(t) + Bu(t) \quad (3.28)$$

$$y(t) = Cx(t) + Du(t) \quad (3.29)$$

$$x_1(t) = Tz \quad y(t) = Tz$$

$$x_2(t) = Tw1$$

$$x_3(t) = Tw2$$

$$x_4(t) = Tr$$

Entonces:

$$x(t) = \begin{bmatrix} T_z \\ T_{w1} \\ T_{w2} \\ T_r \end{bmatrix}.$$

$$\begin{aligned} \dot{T}_z = \frac{-1}{C_z} \cdot \overbrace{(f_{sa} \cdot \rho_a \cdot C_{pa} + 2 \cdot U_{w1} \cdot A_{w1} + U_r \cdot A_r + 2 \cdot U_{w2} \cdot A_{w2})}^{\alpha} T_z(t) + \overbrace{\frac{2 \cdot U_{w1} \cdot A_{w1}}{C_z}}^{\gamma} T_{w1}(t) + \\ \overbrace{\frac{2 \cdot U_{w2} \cdot A_{w2}}{C_z}}^{\delta} T_{w2}(t) + \overbrace{\frac{U_r \cdot A_r}{C_z}}^{\lambda} T_r(t) + \overbrace{\frac{f_{sa} \cdot \rho_a \cdot C_{pa}}{C_z}}^{\beta} T_{sa}(t) + q(t) \end{aligned} \quad (3.30)$$

$$\dot{T}_{w1} = \overbrace{\frac{U_{w1} \cdot A_{w1}}{C_{w1}}}^{\frac{\gamma}{2}} T_z(t) - \overbrace{\frac{2 \cdot U_{w1} \cdot A_{w1}}{C_{w1}}}^{\gamma} T_{w1}(t) + \overbrace{\frac{U_{w1} \cdot A_{w1}}{C_{w1}}}^{\frac{\gamma}{2}} T_o(t) \quad (3.31)$$

$$\dot{T}_{w2} = \overbrace{\frac{U_{w2} \cdot A_{w2}}{C_{w2}}}^{\frac{\delta}{2}} T_z(t) - \overbrace{\frac{2 \cdot U_{w2} \cdot A_{w2}}{C_{w2}}}^{\delta} T_{w2}(t) + \overbrace{\frac{U_{w2} \cdot A_{w2}}{C_{w2}}}^{\frac{\delta}{2}} T_o(t) \quad (3.32)$$

$$\dot{T}_r = \overbrace{\frac{U_r \cdot A_r}{C_r}}^{\delta} T_z(t) - \overbrace{\frac{2 \cdot U_r \cdot A_{wr}}{C_r}}^{2 \cdot \delta} T_r(t) + \overbrace{\frac{U_r \cdot A_r}{C_r}}^{\delta} T_o(t) \quad (3.33)$$

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) = \begin{bmatrix} -\frac{\alpha}{C_z} & \frac{\gamma}{C_z} & \frac{\delta}{C_z} & \frac{\lambda}{C_z} \\ \frac{\gamma}{2C_{w1}} & -\frac{\gamma}{C_{w1}} & 0 & 0 \\ \frac{\delta}{2C_{w2}} & 0 & -\frac{\delta}{C_{w2}} & 0 \\ \frac{\lambda}{C_r} & 0 & 0 & -\frac{2\lambda}{C_r} \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} \frac{\beta}{C_z} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} T_{sa}(t) + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} q(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{\gamma}{2C_{w1}} \\ \frac{\delta}{2C_{w2}} \\ \frac{\lambda}{C_r} \end{bmatrix} T_o(t) \end{aligned} \quad (3.34)$$

$$y(t) = [1 \ 0 \ 0 \ 0] x(t)$$

(3.35)

a) Matriz de Fase

De la ecuación (3.26), se obtiene:

$$\bullet \dot{x}(t) = A_f x(t) + B_f u(t)$$

$$A_f = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -5.655 \times 10^{-13} & -4.579 \times 10^{-9} & -1.1 \times 10^{-5} & -0.008635 \end{bmatrix} \quad (3.36)$$

$$B_f = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ -0.005121 \end{bmatrix} \quad (3.37)$$

$$\bullet y(t) = C_f x(t) + D_f u(t)$$

$$C_f = \begin{bmatrix} 9.257 \times 10^{-11} & 7.071 \times 10^{-7} & 0.001539 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.38)$$

$$D_f = 0$$

b) Matriz de Jordan

De la ecuación (3.27), se obtiene:

$$A_J = \begin{bmatrix} -0.007192 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -0.0007438 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -0.0004781 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -0.0002211 \end{bmatrix} \quad (3.39)$$

$$B_J = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.40)$$

$$C_j = [0.00504619 \quad 0.0000386613 \quad 0.0000321711 \quad 0.0000039976]$$

$$D_j = 0$$

3.4.4. Validación del Modelo

a) Simulación en Ecuaciones Diferenciales

Los resultados de la simulación obtenida fueron trabajadas con condiciones Iniciales: $T_z(0) = 32^\circ C, T_s(0) = 13^\circ C, T_{w1}(0) = T_{w2}(0) = T_r(0) = 32^\circ C$

La siguiente figura muestra el esquema general de la simulación del Sistema a lazo abierto realizada en el software Simulink:

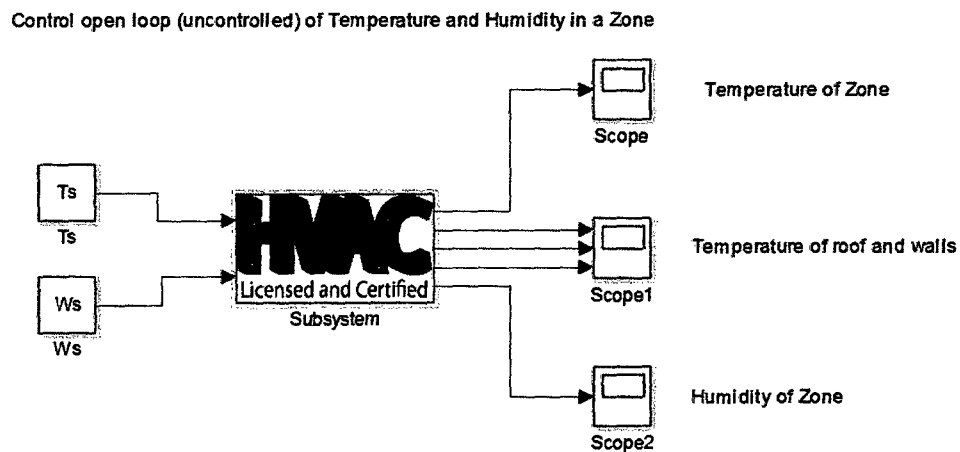


Figura 3.28: Esquema General de la Simulación del Sistema en Ecuaciones Diferenciales

La siguiente figura muestra el esquemático de los Subsistemas presentes, aquí se pueden observar los estados o las variables involucradas en el Sistema. T_s representa la temperatura del aire que es suministrado a la zona para su acondicionamiento, T_o representa la Temperatura ambiente o del exterior, T_z representa la temperatura de la zona, T_{w1}, T_{w2} y T_r representan las temperaturas de las paredes y del techo. La humedad de la zona esta representada por w_z y la humedad del aire de ingreso es w_s

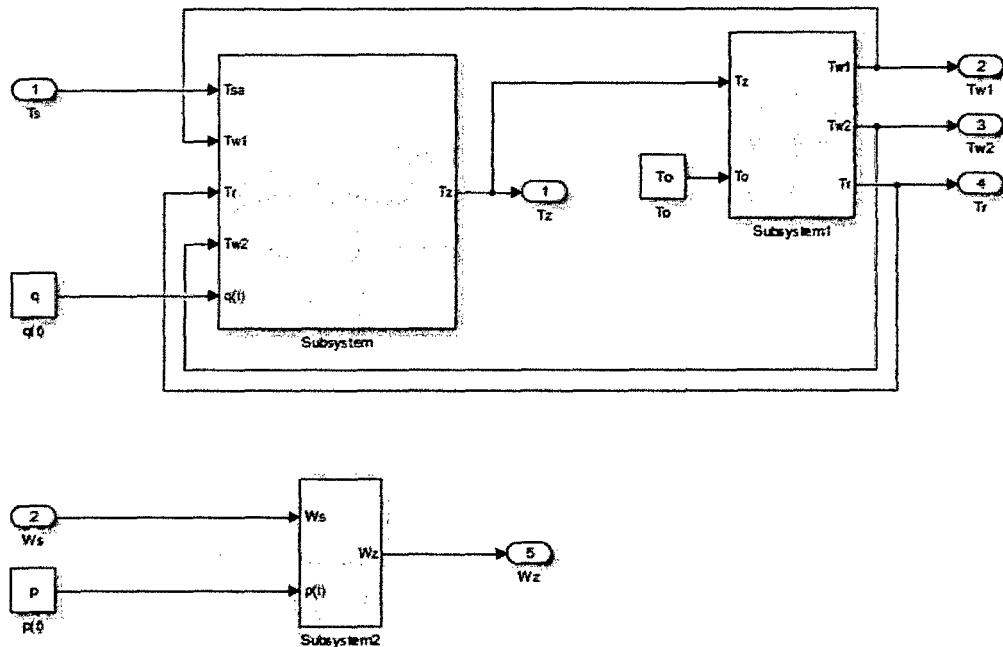
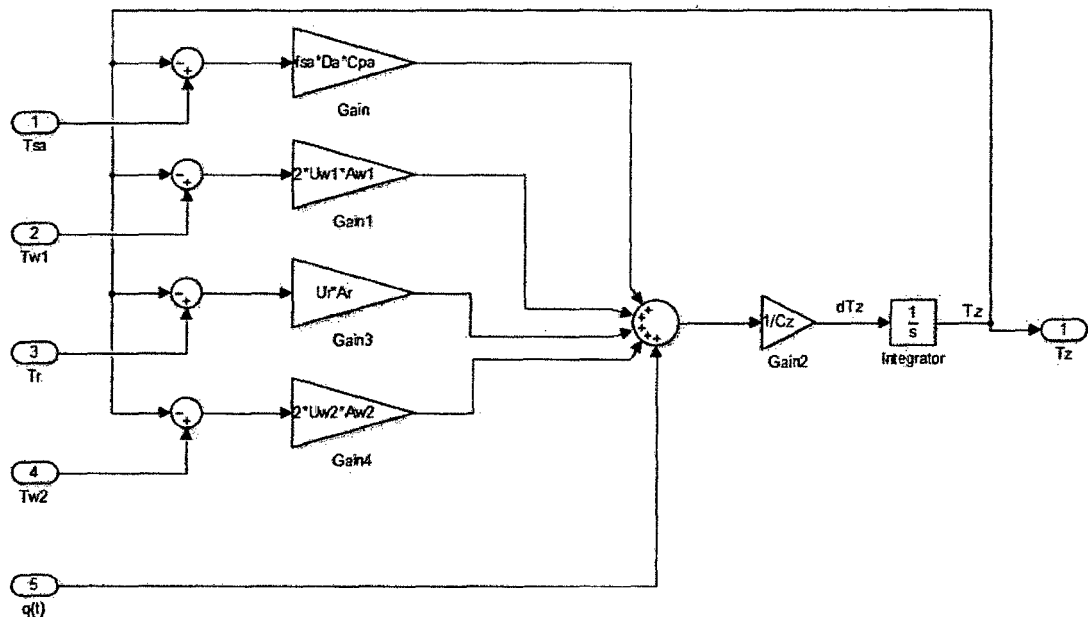


Figura 3.29: Esquema de los Subsistemas

La siguiente figura muestra el esquema en diagrama de bloques representado en ecuaciones diferenciales de mi sistema a analizar (Acondicionamiento de la Zona T_z)

Figura 3.30: Representación Diagrama de Bloques de T_z

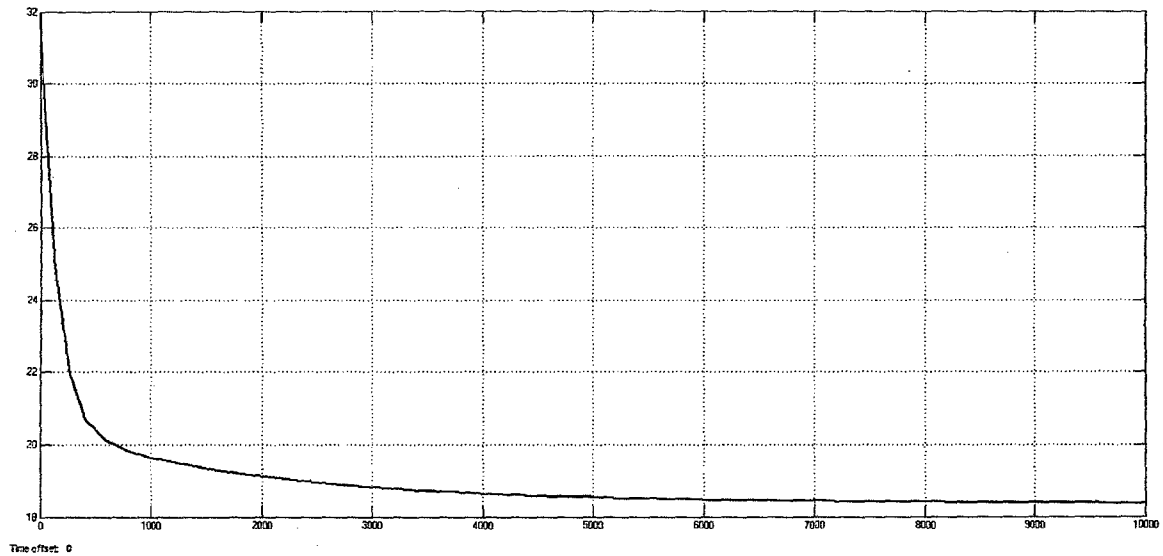


Figura 3.31: Respuesta de mi Sistema a Lazo abierto

La siguiente figura muestra la respuesta de la variable Temperatura de la zona frente a las variables presentes en el Sistema.

Se puede observar que La temperatura inicial de la zona es 32°C y se estabiliza a una temperatura de 19°C despues de 8000 segundos.

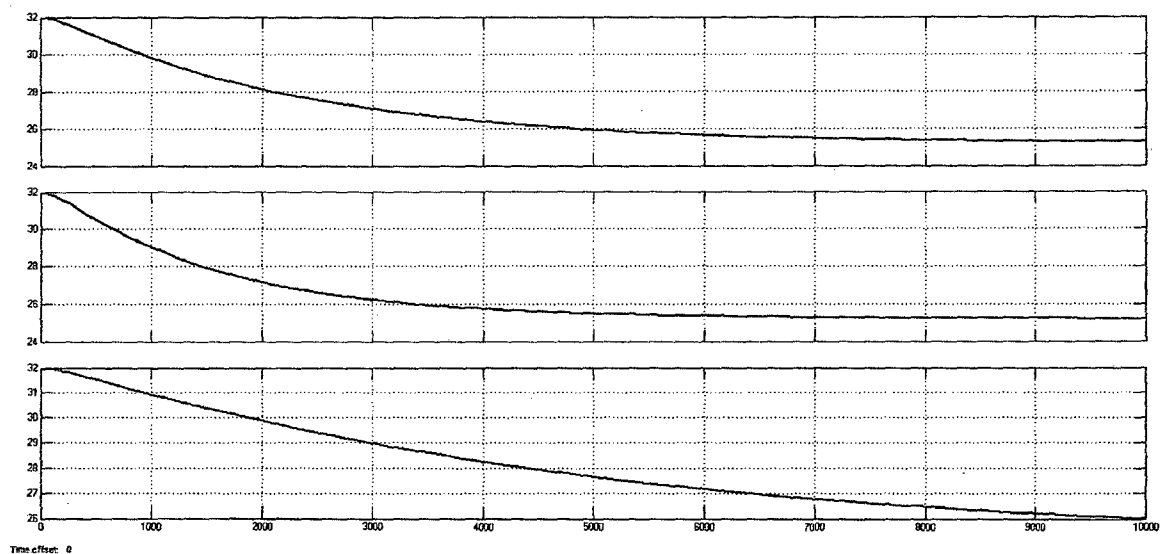


Figura 3.32: Respuesta de las temperaturas de las Paredes y Techo

b) Simulación en Laplace

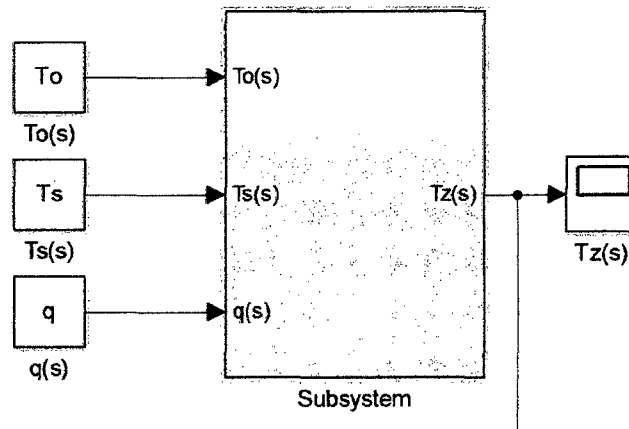


Figura 3.33: Diagrama General del Subsistema en Laplace

La siguiente gráfica muestra el Diagrama de bloques del Sistema representado en Laplace, considerando las cargas $q(t)$ y To . Se considera en el ambiente 0.15 kW la carga por persona y 0.5 kW la carga por Lámpara. Siendo 2 personas y dos lámparas la carga a simular.

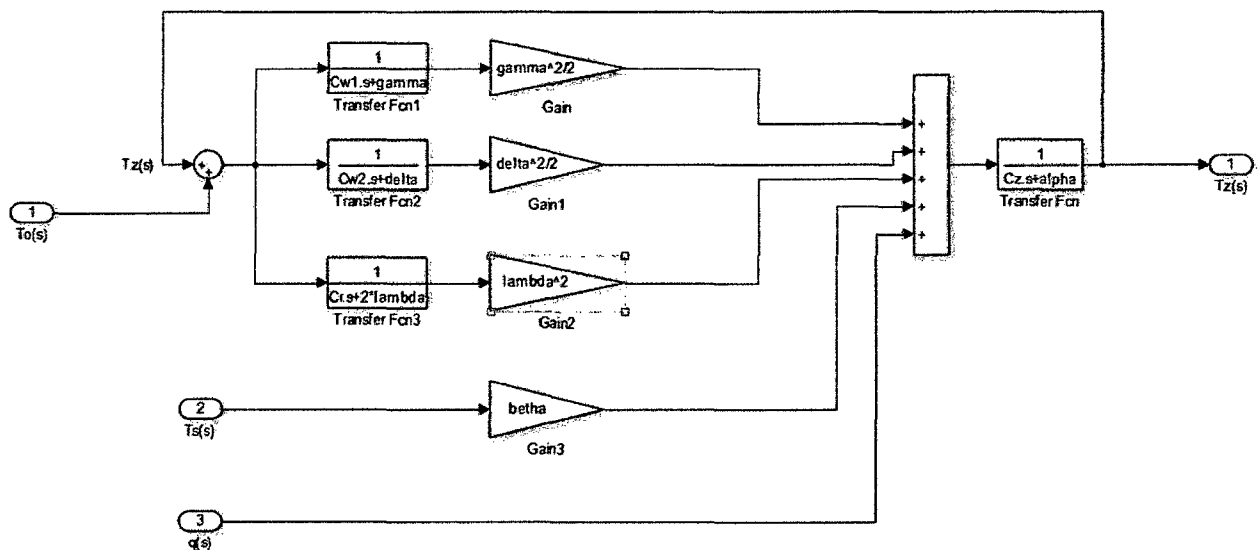


Figura 3.34: Diagrama de bloques del Sistema representado en Laplace

La Figura siguiente muestra la representación de la función de Transferencia de mi Sistema en valores numéricos.

Estos valores numéricos fueron obtenidos con un código de programación que fue realizado en Matlab y se adjunta en el la parte de anexos.

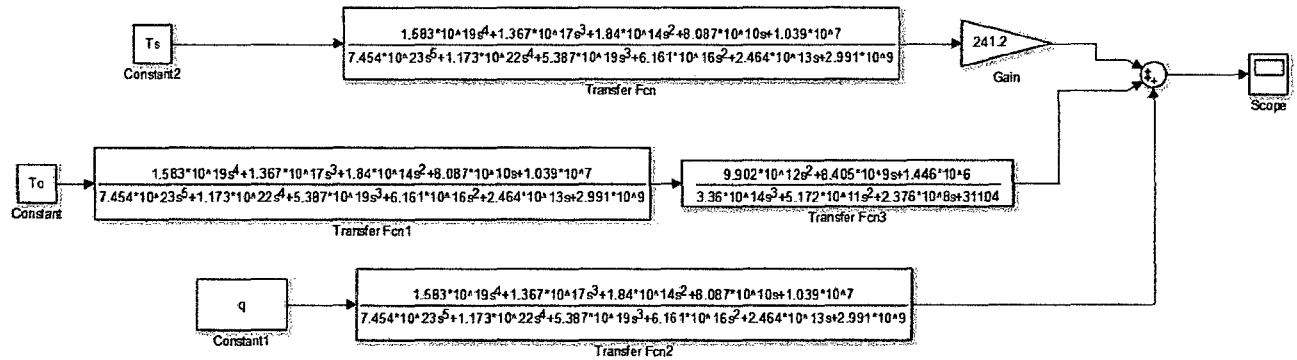


Figura 3.35: Función de Transferencia del Sistema a Lazo abierto

La Figura siguiente muestra las respuestas de mi Sistema frente a las diferentes representaciones de Laplace de mi Sistema.

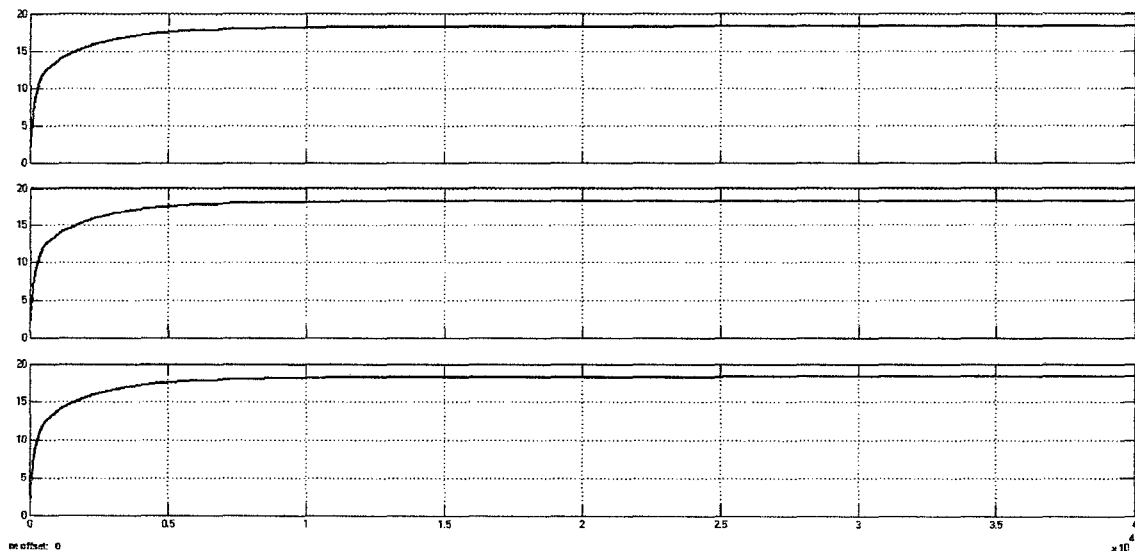


Figura 3.36: Respuesta del Sistema (T_z)

La figura siguiente muestra la respuesta de mi sistema (Temperatura de la Zona) sin considerar cargas.

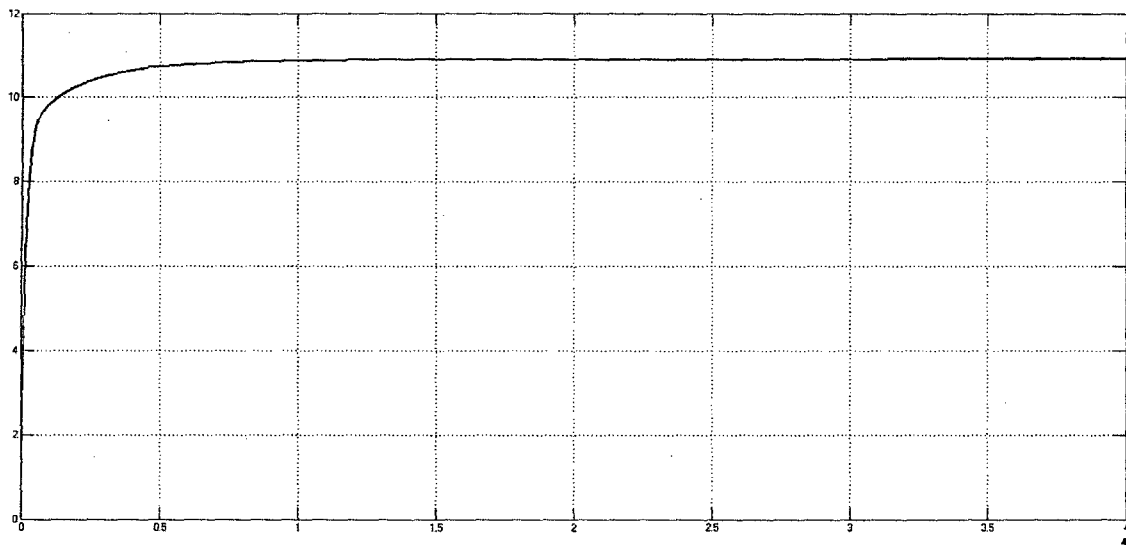


Figura 3.37: Respuesta de mi Sistema sin Considerar cargas

c) Simulación en Espacios de Estado

La siguiente figura muestra la representación de mi Sistema en Variables de estado, se consideran los tres tipos de matrices.

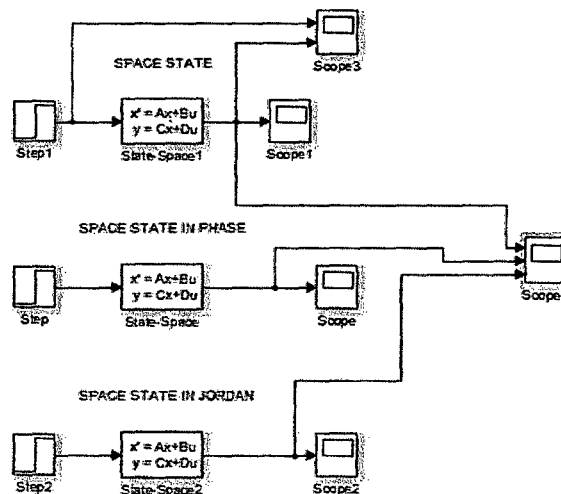


Figura 3.38: Esquemático del Sistema representado en espacios de Estado

La siguiente figura la respuesta del Sistema en Variables de Estado.

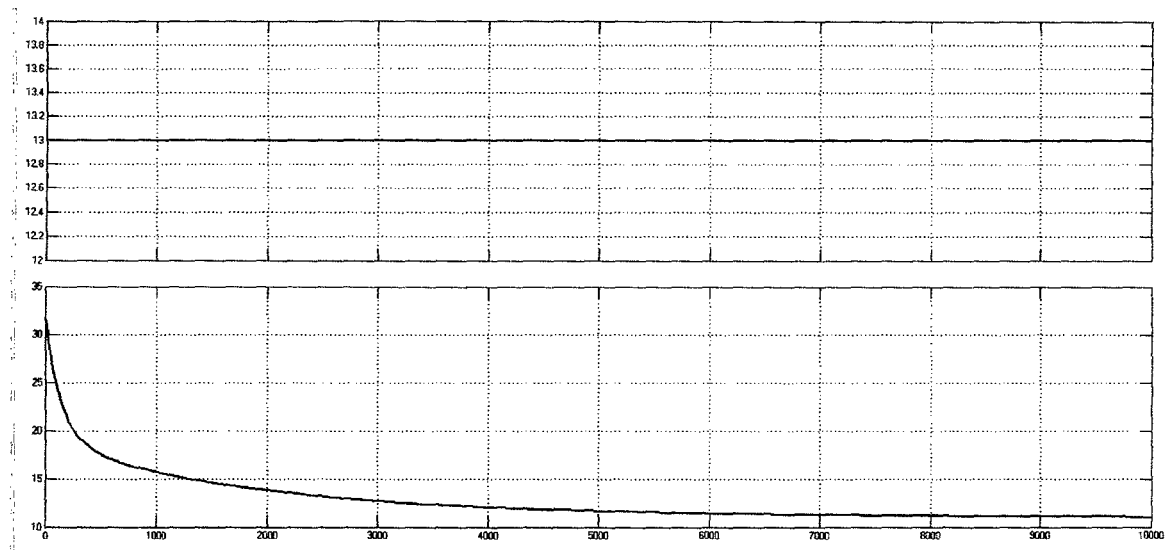


Figura 3.39: Respuesta de mi Sistema frente a una $T_s = 13$

La siguiente figura muestra la respuesta de mi Sistema frente a los tres tipos de variables de estado, Matriz obtenida de las ecuaciones diferenciales, Fase y Jordan.

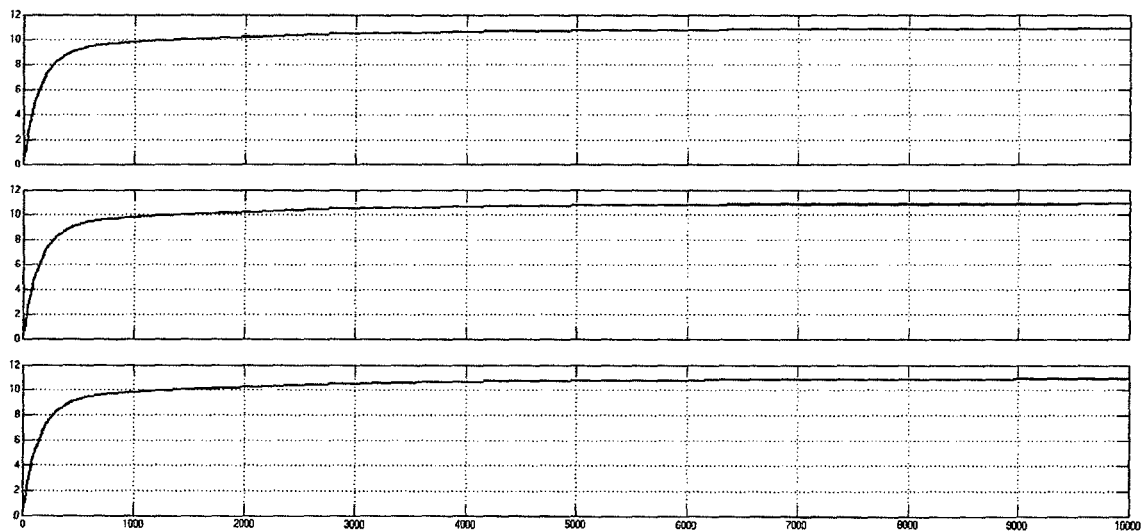


Figura 3.40: Respuesta de mi Sistema frente a las representaciones de espacios de estado

3.4.5. Controlabilidad

Primero demostramos que nuestro sistema es controlable:

De la ecuación (3.34) y (3.35) se tiene:

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} -0.007095541401274 & 0.000764331210191 & 0.001019108280255 & 0.000191082802548 \\ 0.000257142857143 & -0.000514285714286 & 0 & 0 \\ 0.0004 & 0 & -0.0008 & 0 \\ 0.0001123 & 0 & 0 & -0.000225 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0.00512101910828 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} u$$

$$y(t) = [1 \ 0 \ 0 \ 0] x(t)$$

Por lo tanto la matriz de controlabilidad es :

$$c = [B \ AB \ A^2B \ A^3B]$$

siendo:

$$B = \begin{bmatrix} 0.00512101910828 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; AB = \begin{bmatrix} -3.633640309951600e-05 \\ 1.31683348498702e-06 \\ 2.04840764331200e-06 \\ 5.75090445859844e-07 \end{bmatrix}; A^2B = \begin{bmatrix} 2.61030388581947e-07 \\ -1.00208751607316e-08 \\ -1.61732873544560e-08 \\ -4.20997341839411e-09 \end{bmatrix}; A^3B = \begin{bmatrix} -1.87709798139393e-09 \\ 7.22756928609171e-11 \\ 1.17350785316344e-10 \\ 3.02609566568914e-11 \end{bmatrix}$$

$$c = \begin{bmatrix} 0.005121019 & -3.6336403e-05 & 2.6103038e-07 & -1.8770979e-09 \\ 0 & 1.3168334e-06 & -1.0020875e-08 & 7.2275692e-11 \\ 0 & 2.0484076e-06 & -1.6173287e-08 & 1.1735078e-10 \\ 0 & 5.7509044e-07 & -4.2099734e-09 & 3.0260956e-11 \end{bmatrix}$$

Ahora usamos el comando "rank" de MATLAB y tenemos que el rango de "c", nuestra matriz de controlabilidad, es 4. Nuestro sistema es de cuarto orden, por lo tanto tenemos que es completamente controlable.

Ahora que sabemos que el sistema es completamente controlable se puede aplicar controladores proporcional e integrador al sistema:

3.4.5.1. Aplicando un controlador proporcional

Se diseña un controlador Proporcional con los siguientes polos a lazo cerrado

$$(s + p_1)(s + p_2)(s + p_3)(s + p_4) = (s + 1/5000)(s + 1/1200)(s + 1/1000)(s + 1/800)$$

$$\rightarrow s^4 + 0.003283s^3 + 3.742e-06s^2 + 1.667e-09s + 2.083e-13$$

Al aplicar el comando acker se obtiene

$$K = [-0.00542036900860575 \quad -7.05086938070304e-06 \quad 8.68087477887547e-05 \quad -1.10555364689777e-05]$$

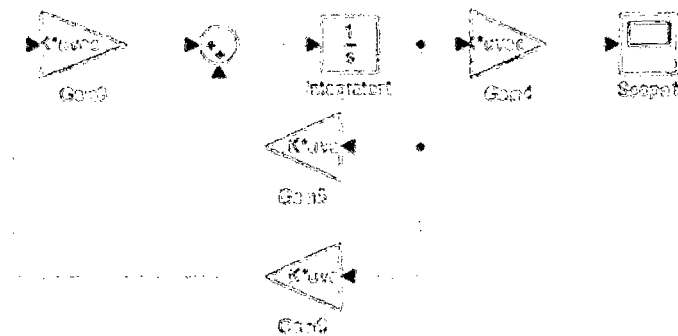


Figura 3.41: Diagrama de Bloques del Sistema con Regulador y sin referencia

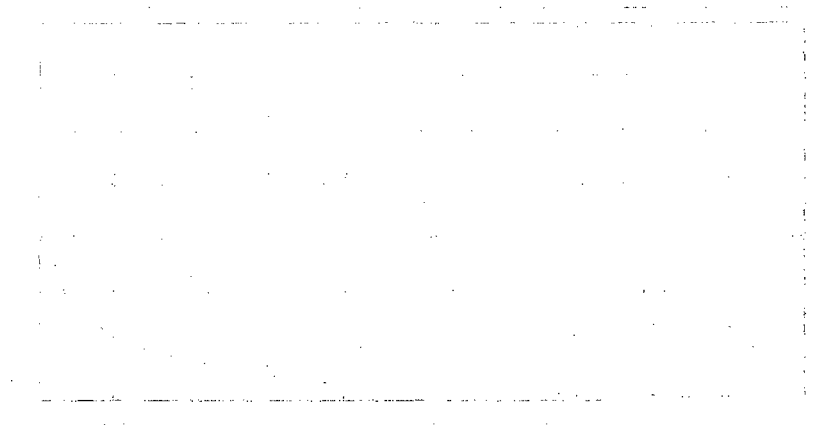


Figura 3.42: Respuesta del Sistema con Regulador y sin referencia

3.4.5.2. Aplicando un controlador Integral

Requerimos que nuestro sistema llegue al valor de referencia presentando error nulo. Para conseguir los valores del controlador requerido que cumplan las condiciones necesarias se aplica lo siguiente:

$$\dot{x} = Ax + Bu$$

$$y = Cx$$

$$\dot{x} = Cx$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_I \\ \dot{x} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & C \\ 0 & A \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_I \\ x \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ B \end{bmatrix} u$$

Usando las matrices de Jordan mostradas en las ecuaciones (3.39) y (3.40) y aplicando la ley de control

$$\det[sI - A_u + B_u K], K = [K_1 \ K_2 \ K_3 \ K_4]$$

$$\det \begin{bmatrix} s & -0.00504619 & -0.0000386613 & -0.0000321711 & -0.0000039976 \\ K_1 & s+0.007192+K_1 & K_2 & K_3 & K_4 \\ K_1 & K_1 & s+0.0007438+K_2 & K_3 & K_4 \\ K_1 & K_1 & K_2 & s+0.0004781+K_3 & K_4 \\ K_1 & K_1 & K_2 & K_3 & s+0.0002211+K_4 \end{bmatrix}$$

Utilizando los mismo polos que el control proporcional y resolviendo la igualdad se obtiene:

$$KI = 0.00150557775869079$$

$$K = [-0.00249036223055783 \ 0.000169333513749289 \ -0.000638050914849155 \ 0.00020265106022]$$

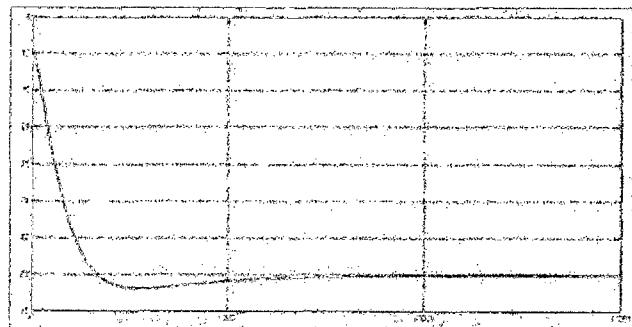


Figura 3.43: Respuesta del Proceso con controlador y Referencia

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. Comprobación de la Supervisión de las Variables de control en el prototipo implementado

Conociendo que el Sistema de climatización es el primer servicio en cuanto al consumo global de energía en un edificio, según datos del IDAE ¹ del año 2013, con un total del 60 % del gasto energético, mientras que la iluminación ocupa el segundo lugar con un 28 %.

Se optó por realizar un prototipo a pequeña escala donde se implementó parte del control aplicable al edificio. Este prototipo involucra el control y monitoreo de las variables (Temperatura, flujo y velocidad) y permitirá poder realizar la supervisión de las variables de control en el sistema scada y la demostración del modelo matemático mostrado en el capítulo anterior. Logrando así demostrar que el diseño de control a instalarse en el edificio es el adecuado para el ahorro energético óptimo.

El prototipo implementado posee los siguientes elementos:

ELEMENTOS	MARCA	MODELO
Variador de Velocidad	Allen Bradley	Power Flex 40
Transmisor de Flujo	Arkon	MagX2
Controlador maestro	Allen Bradley	Compact Logix
Controlador esclavo	Allen Bradley	Micrologix 1400
Heater	NA	NA
Chiller	NA	NA
Electrobomba	Pentax	U5-120/3T

Tabla 4.1: Elementos usados en el prototipo a controlar

¹Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

El prototipo implementado, simula el funcionamiento de un Sistema de climatización en pequeña escala, el cual posee un enfriador (chiller) que permitirá el enfriamiento del agua a baja temperatura, indicadores de temperatura y flujo y dos válvulas de salida de 1" cada una. Además posee un heater instalado dentro del tanque que simula la carga térmica en un ambiente. El agua a baja temperatura es bombeado a través de una electrobomba comandada con variador de frecuencia y el flujo de agua es sensado a través de un flujometro ubicado a la salida de la bomba. Los datos generados por los instrumentos serán enviados al PLC secundario, cuya función es controlar el funcionamiento de la electrobomba por medio de un variador de velocidad, activar el heater y el chiller, recibir las señales del RTD; a la vez estos datos son enviados al PLC principal que está conectado al Sistema Scada diseñado en Factory Talk y que permitirá el control de la electrobomba, el chiller, el heater y el control de temperatura en el tanque, .

Lo que se desea es controlar la temperatura del tanque de acuerdo al set point establecido en el Sistema Scada, para ello internamente se controla la potencia de la bomba a través de un variador de frecuencia , la activación del enfriador-chiller y se le agregan disturbios simulados por el heater.

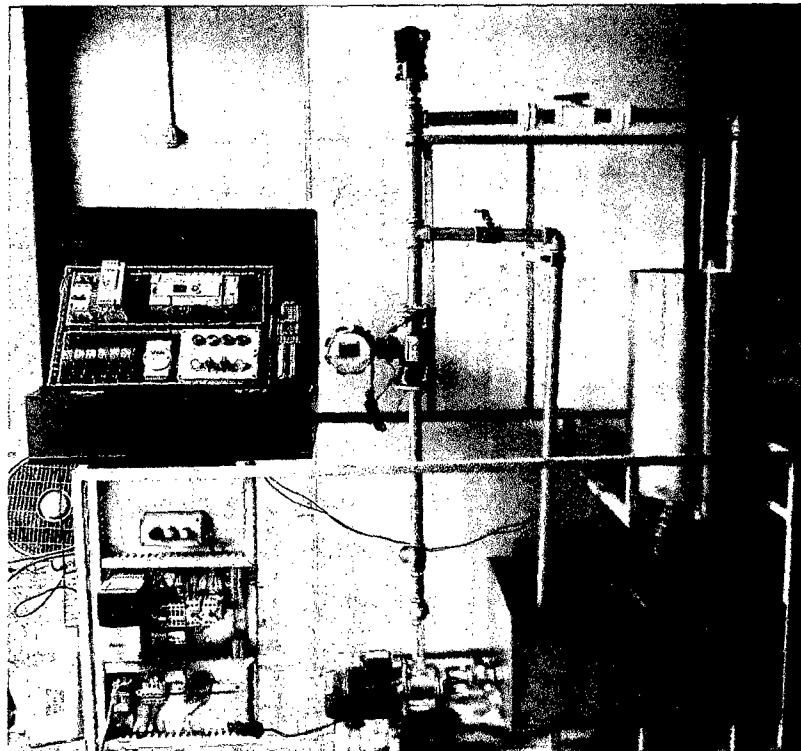


Figura 4.1: Prototipo de prueba donde se implementó el control

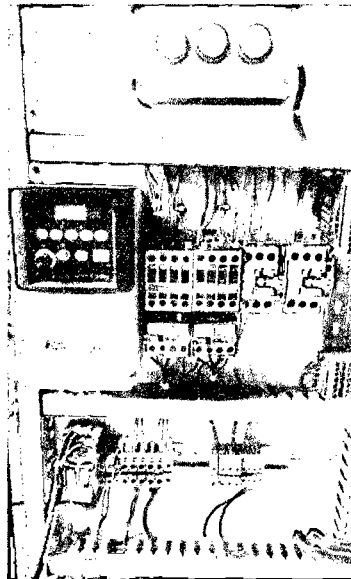


Figura 4.2: Variador de frecuencia Power Flex 40

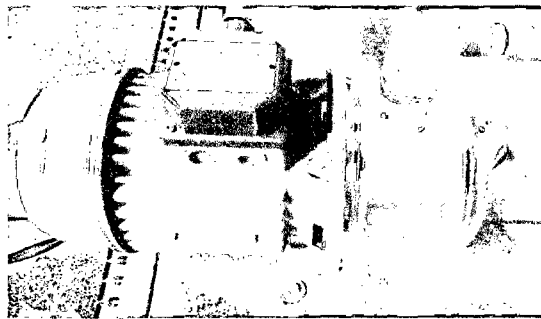


Figura 4.3: Electrobomba Pentax



Figura 4.4: Transmisor Indicador de flujo Arkon

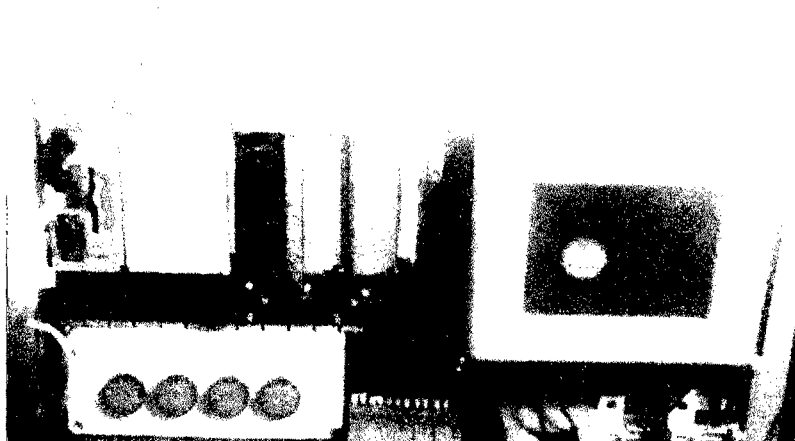


Figura 4.5: Controlador Maestro

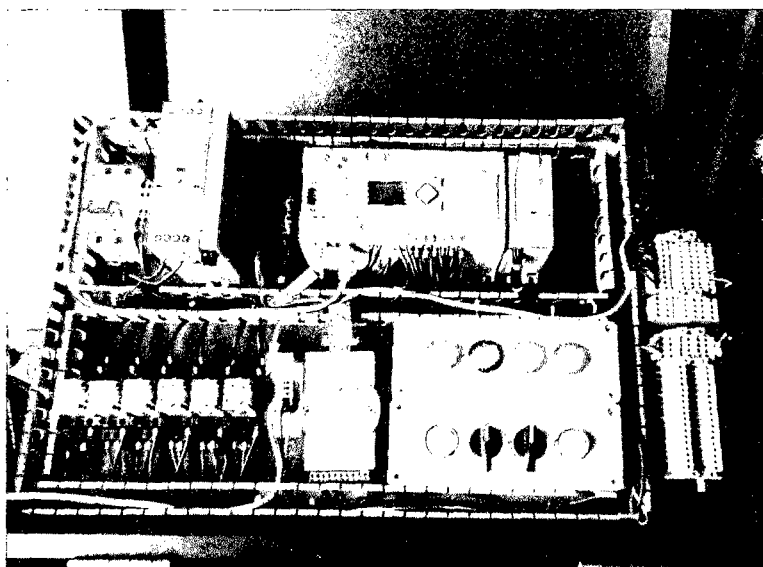


Figura 4.6: Controlador esclavo

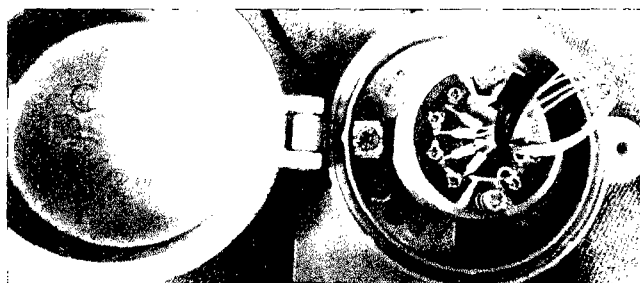


Figura 4.7: Transmisor de temperatura

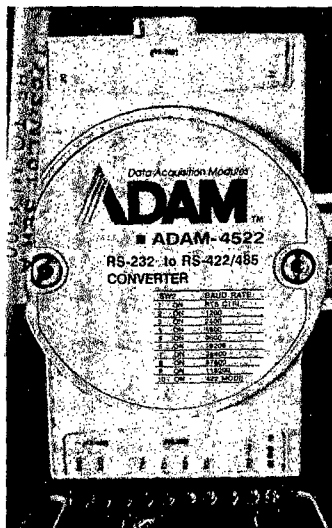


Figura 4.8: Módulo convertidor Modbus rs232-rs485

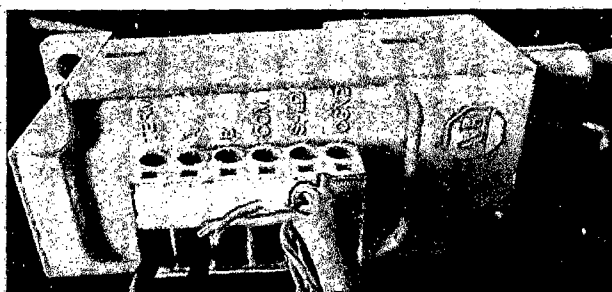


Figura 4.9: Módulo Modbus rs485

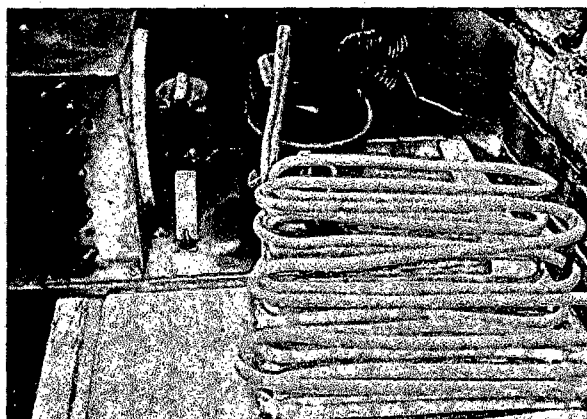


Figura 4.10: Enfriador de agua

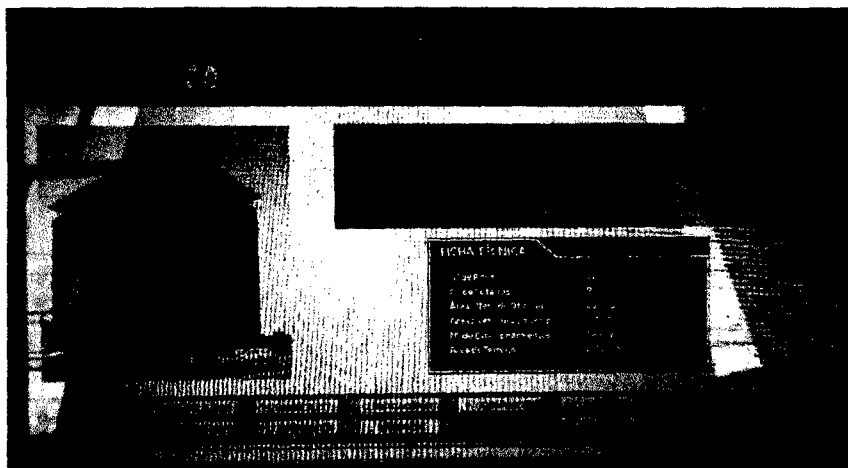


Figura 4.11: Sistema Scada implementado

4.1.1. Conexión de los Instrumentos y Configuración del PLC secundario

Aprovechando que tanto el controlador y los instrumentos mencionados anteriormente poseen la opción de comunicarlos por red industrial Modbus RTU, se optó por implementar esta red en el prototipo con comunicación rs-485; solo el transmisor de temperatura será conectado directamente a la entrada analógica del controlador secundario. Para eso vamos a suponer que el controlador secundario será el maestro en esta red y el resto de elementos los esclavos.

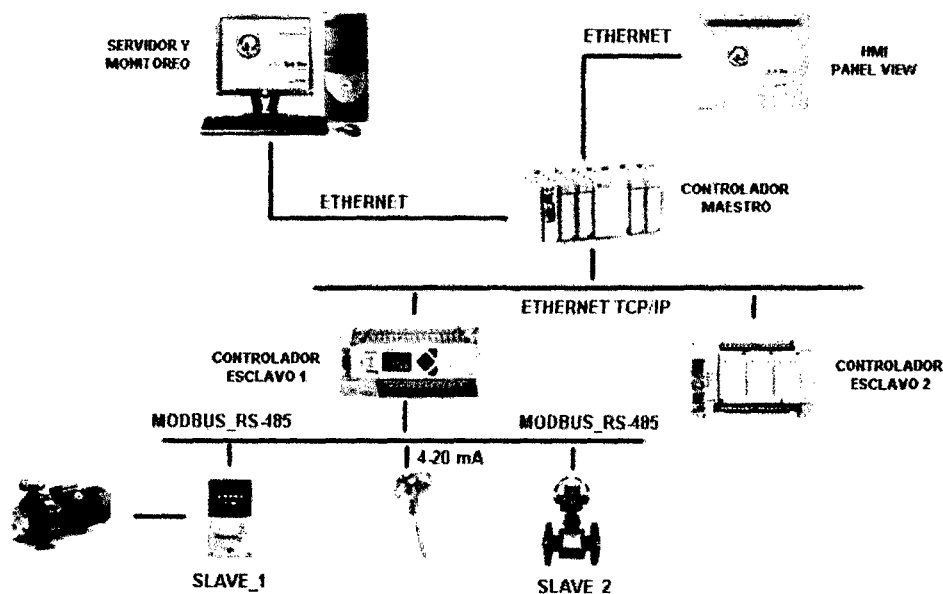


Figura 4.12: Arquitectura del Sistema

Los PLC de fábrica vienen sin una dirección IP pero con una única dirección MAC² asignada, es por ello que necesita ser configurado antes de su conexión. Esta configuración puede realizarse de dos maneras, a través del puerto serial incorporado o a través de un programa llamado BOOTP-DHCP, en este caso se hizo con la segunda opción.

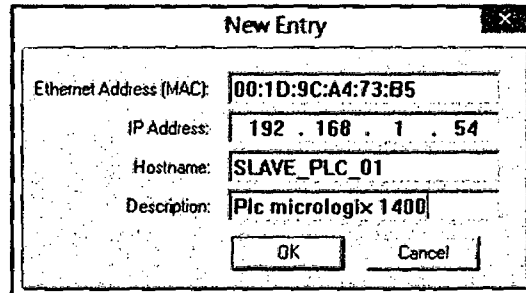


Figura 4.13: Configuración de la dirección ip del PLC secundario 1

El segundo paso es la configuración del PLC secundario como maestro para poder realizar nuestra red modbus rtu, en esta opción se observan diferentes opciones como la velocidad de transmisión, bit de parada, bits de datos, bits de paridad, etc.

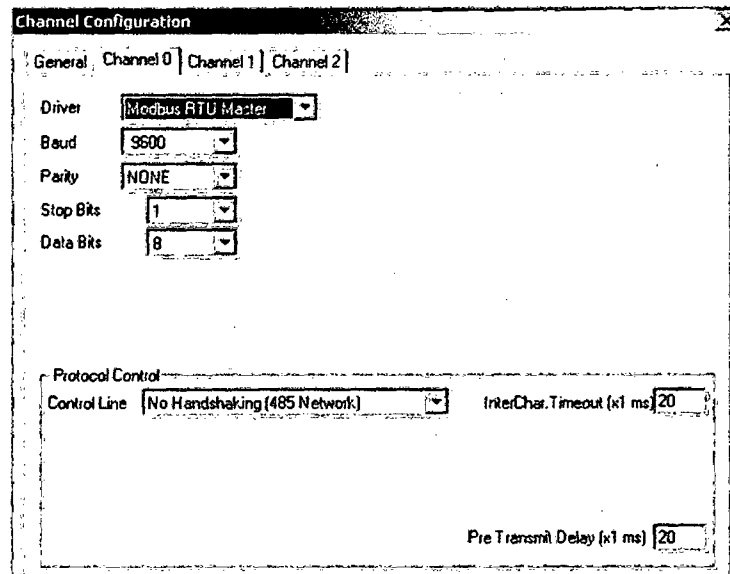


Figura 4.14: Canal 0 para la configuración del PLC como maestro

El tercer paso es poder leer y escribir en los registros de los esclavos, estos deben ser configurados previamente a través de su interfaz gráfica con la dirección que corresponda. Para ello se le asigna un nodo a cada esclavo siendo el variador de velocidad el nodo 2 y el transmisor de flujo el nodo 1.

²De las siglas en inglés Media Access Control.

El cuarto paso es configurar los registros de los dos esclavos:

- **Variador:** para este elemento vamos a escribir en su registro el encendido-apagado y la frecuencia; además leeremos la frecuencia, voltaje y corriente.

Writing (06) Logic Command Data		
Address (decimal)	Bit(s)	Description
8192	0	1 = Stop, 0 = Not Stop
	(1)	1 = Start, 0 = Not Start
	2	1 = Jog, 0 = No Jog
	(3)	1 = Clear Faults, 0 = Not Clear Faults
	5,4	00 = No Command
		01 = Forward Command
		10 = Reverse Command
		11 = Change Direction (toggle)
	6	Not used
	7	Not used
	9,8	00 = No Command
		01 = Accel Rate 1 Enable
		10 = Accel Rate 2 Enable
		11 = Hold Accel Rate Selected
	11,10	00 = No Command
		01 = Decel Rate 1 Enable
		10 = Decel Rate 2 Enable
		11 = Hold Decel Rate Selected
	14,13,12	000 = No Command
		001 = Freq. Source = P036 [Start Source]
		010 = Freq. Source = A069 [Internal Freq]
		011 = Freq. Source = Comms (Addr 8193)
		100 = A070 [Preset Freq 0]
		101 = A071 [Preset Freq 1]
		110 = A072 [Preset Freq 2]
		111 = A073 [Preset Freq 3]
	15	Not used

Figura 4.15: Modbus Register 8193

Writing (06) Reference	
Address (decimal)	Description
8193	A decimal value entered as xxx.x where the decimal point is fixed. For example, a decimal "100" equals 10.0 Hz, "543" equals 54.3 Hz, etc.

Figura 4.16: Modbus Register 8194

Reading (03) Output Frequency (Feedback) ⁽¹⁾	
Address (decimal)	Description
8451	A xxx.x decimal value where the decimal point is fixed. For example, a decimal "123" equals 12.3 Hz, "300" equals 30.0 Hz, etc.

Figura 4.17: Modbus Register 8452

Reading (03) Output Current ⁽¹⁾	
Address (decimal)	Description
8452	A xx.xx decimal value where the decimal point is fixed. For example, a decimal "50" equals 0.50 Amps, "123" equals 1.23 Amps, etc.

Figura 4.18: Modbus Register 8453

Reading (03) Output Voltage ⁽¹⁾	
Address (decimal)	Description
8454	A xxx.x decimal value where the decimal point is fixed. For example, a decimal "1234" equals 123.4 Volts, "2000" equals 200.0 Volts, etc.

Figura 4.19: Modbus Register 8455

Ahora vamos al PLC declaramos cuatro tipo de datos, uno "Message" que será a partir de la dirección 9 y los otros donde se escriben/leen los datos, tipo Integer a partir de la dirección 10.

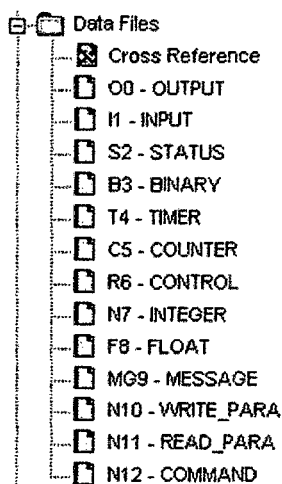


Figura 4.20: Tipos de datos declarados en el plc secundario 1

En la tabla de los registros dada por los fabricantes se pueden observar que existen dos columnas una denominada "Modbus Register" y "Modbus Address". Para realizar una lectura o escritura se debe trabajar con la dirección del "Modbus Register". Es decir, para leer/escribir este valor en el PLC escribimos el número del "Modbus register" en un bloque MSG y otro bloque tipo entero o flotante para guardar esta lectura o escritura.

Ya en la programación llamamos al bloque MSG en el cual ingresaremos el tipo de dato previamente creado, en este bloque también se programa la dirección del esclavo o del nodo, la dirección del Modbus Register y si este es de tipo lectura o escritura.

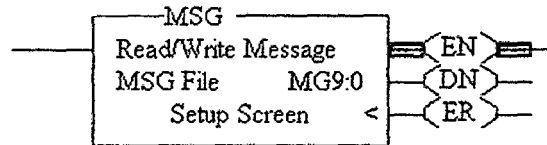


Figura 4.21: Bloque MSG

Dentro del bloque MSG, cuya dirección es la MG9, ingresamos el Modbus Register, para este caso el 8193, como es escritura, en Modbus Command seleccionamos "Write Single Register" y el "Data Table Address" el N10:0 y finalmente la dirección del esclavo, dosen este caso.

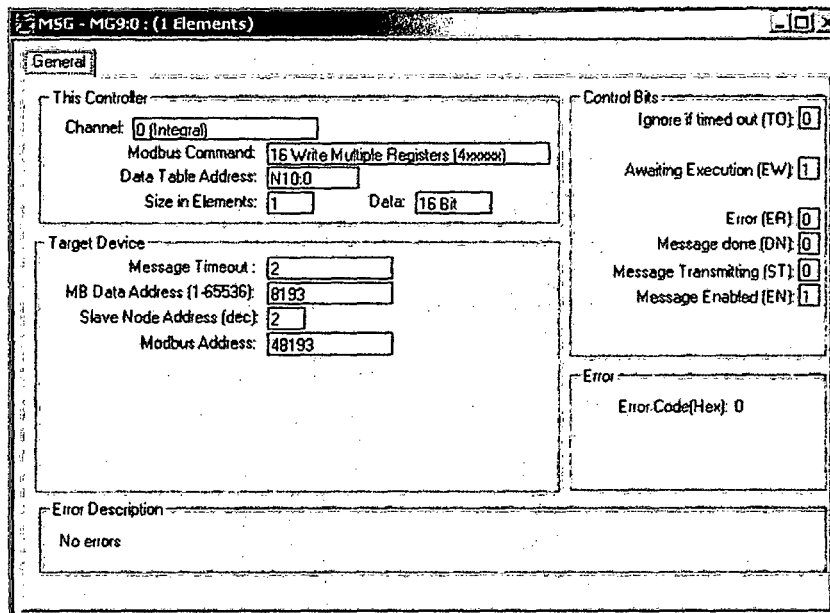


Figura 4.22: Configuración de marcha y paro del variador de frecuencia.

De la misma forma para poder controlar la frecuencia del variador cuyo Modbus Register es el 8194, escribimos en nuestro bloque "MSG" previamente creado, para este caso será el N21:1

Ahora para leer a las variables como la corriente, voltaje y frecuencia procedemos de la misma forma, lo único que cambia es la opción Modbus Command donde seleccionamos la opción "Read Holding Registers".

Figura 4.23: Lectura de la frecuencia feedback

- **Transmisor de flujo:** existen varios parámetros que podemos leer, para este caso solo vamos a dar lectura al flujo y la temperatura.

Modbus register	Modbus address	No. of bytes	Data type	No. of decimal	Min Value	Max Value	Description	Read/Write
100	99	4	Longint	3	-10 ⁷	10 ⁷	FLOW	R
102	101	4	Longint	0	0	2 ³²	TOTAL *	R
104	103	4	Longint	6	0	2 ³²	TOTAL DEC *	R
106	105	4	Longint	0	0	2 ³²	AUX *	R
108	107	4	Longint	6	0	2 ³²	AUX DEC *	R
110	109	4	Longint	0	0	2 ³²	TOTAL+ *	R
112	111	4	Longint	6	0	2 ³²	TOTAL+ DEC *	R
114	113	4	Longint	0	0	2 ³²	TOTAL- *	R
116	115	4	Longint	6	0	2 ³²	TOTAL- DEC *	R
118	117	4	Longint	1	0	2 ³²	TEMP	R
120	119	4	Longint	-	0	0xFFFFFFFF	Actual Error	R

Figura 4.24: Tabla de registro del transmisor de flujo

La única variación que realizo para este caso es modificar el campo "Slave Node Address", como ya hemos mencionado, este transmisor será el esclavo número 1.

Figura 4.25: Lectura de Flujo

Figura 4.26: Lectura de Temperatura

- **Transmisor de temperatura:** la conexión al PLC es a través de la entrada I:1.0 en la cual la señal de entrada analógica es de corriente en el rango de 4 a 20 ma, para esto vamos a escalar los valores leídos con el bloque SCP. De acuerdo a los datos tomados para 4 ma nos da un valor de 6241 y para 20ma nos da 31206, y será escalado de 0 a 100 °C de acuerdo a las características del RTD, con esto ya realizado guardamos la lectura de la temperatura del agua en una variable tipo flotante F8:0.

SCP	
Scale w/Parameters	
Input	I:1.0
	12025<
Input Min.	6241.0
	6241.0<
Input Max.	31206.0
	31206.0<
Scaled Min.	0.0
	0.0<
Scaled Max.	100.0
	100.0<
Output	F8:0
	23.17<

Figura 4.27: Escalamiento con el bloque SCP

El quinto paso es la configuración de la dirección ip del PLC principal; en este caso se trabajó con el PLC Compact Logix, al cual se le envían todos los valores de las variables obtenidas de cada plc esclavo a través de comunicación ethernet.

Figura 4.28: Configuración de la dirección ip del PLC Principal

El sexto paso es configurar los bloques de mensajería MSG para leer los valores de cada esclavo; bloques de escritura y lectura son configurados a continuación:

Figura 4.29: Configuración del comando de arranque

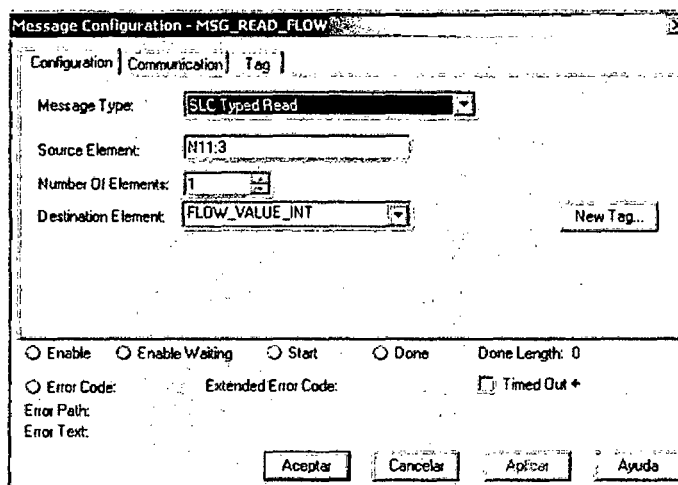


Figura 4.30: Lectura del Flujo del esclavo 1

Lo mismo se hará con todos los parámetros de lectura y escritura enviados de cada esclavo.

4.1.2. Configuración del Sistema de Supervisión

El séptimo paso, una vez que se realizó la configuración para la lectura y escritura de los parámetros entre los plc secundarios y el principal; es configurar el sistema de supervisión. La interfaz que permite la comunicación entre el PLC principal y el Sistema de Supervisión Scada realizado en Factory Talk Site Edition es el RSLinx.

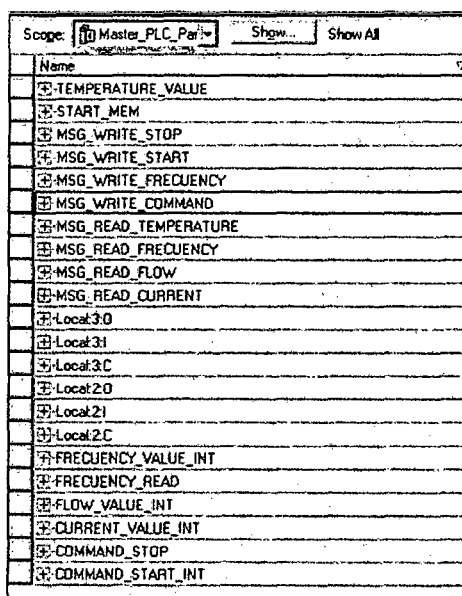


Figura 4.31: Variables a enlazar con RSLinx

4.1.3. Configuración y Resultados del control PID

De acuerdo al modelo matemático del Capítulo 3 a continuación se demuestra el análisis del control de temperatura del agua en el tanque en función del tiempo de encendido del chiller, el flujo de entrada de agua al tanque, así como las perturbaciones generadas por el heater en esta planta.

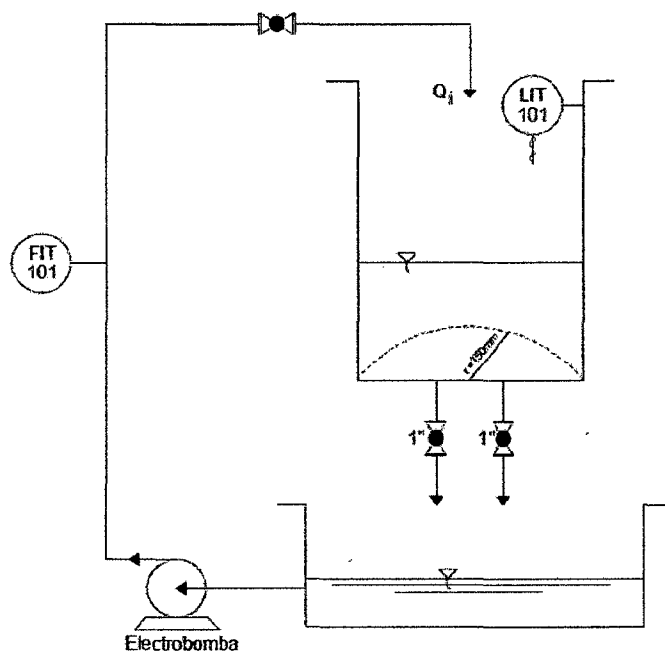


Figura 4.32: P&ID de Planta Piloto

Para hallar el modelo del proceso se hará arrancar la bomba a una frecuencia de 30 Hz, con variaciones de ± 5 Hz. Siendo la variable controlada la temperatura y la variable de control el flujo de agua. Para esta prueba se considerarán las perturbaciones producidas por el heater. Después del análisis se procede a configurar el bloque PID del controlador.

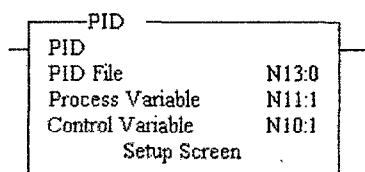


Figura 4.33: Bloque PID

PID Setup

Tuning Parameters: Controller Gain Kc = 12.0 Reset Ti = 0.5 Rate Td = 0.01 Loop Update = 0.01 Control Mode = E=SP-PV PID Control = AUTO Time Mode = STI Limit Output CV = NO Deadband = 0 Feed Forward Bias = 0		Inputs: Scaled Set Point SPS = 16398 Setpoint MAX(Smax) = 32000 Setpoint MIN(Smin) = -3200 Process Variable PV = 0	Flags: TM = 0 AM = 0 CM = 0 OL = 0 RG = 0 SC = 0 TF = 0 DA = 0 DB = 0 UL = 0 LL = 0 SP = 0 PV = 0 DN = 1 EN = 1
Output: Control Output CV (%) = 100 Output Max CV (%) = 100 Output Min CV (%) = 2 Scaled Error SE = 0 Error Code = 0			

OK Cancel Help

Figura 4.34: Parámetros del PID

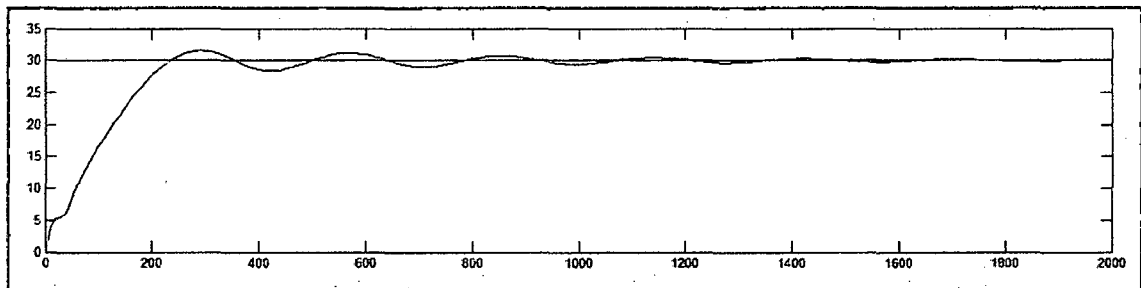


Figura 4.35: Respuesta de la variable controlada

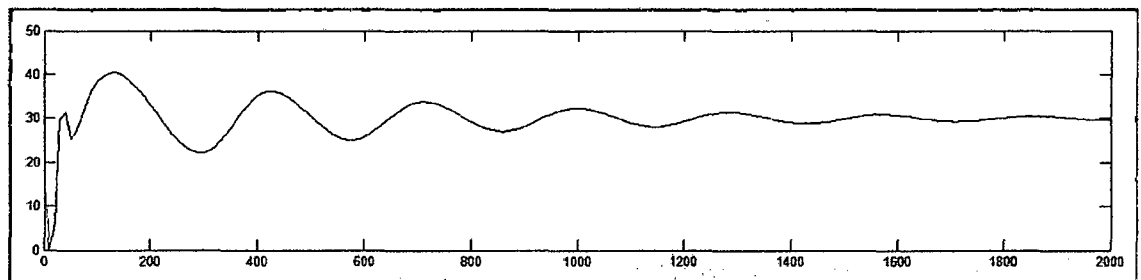


Figura 4.36: Respuesta de la variable de control

4.2. Eliminación de los picos de corriente y reducción del consumo Energético en el S. de Climatización

Gracias a la implementación del sistema de control, que en este caso incluye la puesta en marcha de las electrobombas primarias, electrobombas secundarias y electrobombas de condensado así como los ventiladores axiales de las torres de enfriamiento a través de variadores de frecuencia, se logra eliminar los picos de corriente generados por los continuos arranques y paradas de estos elementos que antes eran activados por el arranque estrella-triángulo y así ahorrar el suministro de energía.

Al eliminar estos picos de corriente se eliminan las interferencias y perturbaciones transitorias en la línea y de esta manera se alarga la vida útil tanto del motor como de los variadores de frecuencia.

En las tablas siguientes se muestra el número de veces por día que se encienden y se apagan estas electrobombas (electrobombas primarias, electrobombas secundarias y electrobombas de condensado).

Hora	PRIMARY PUMP 1	PRIMARY PUMP 2	PRIMARY PUMP 3	PRIMARY PUMP 4
6:00-8:30	Apagada	Activa	Stand by	Stand by
8:30-12:00	Activa	Apagada	Stand by	Stand by
12:00-14:30	Activa	Activa	Stand by	Stand by
14:30-18:00	Apagada	Activa	Stand by	Stand by
18:00-20:00	Apagada	Apagada	Stand By	Stand By
20:00-6:00	Activa	Activa	Stand By	Stand By

Tabla 4.2: Horario de operación de electrobombas primarias

Hora	SECONDARY PUMP 1	SECONDARY PUMP 2	SECONDARY PUMP 3	SECONDARY PUMP 4
6:00-8:30	Apagada	Activa	Stand by	Stand by
8:30-12:00	Activa	Apagada	Stand by	Stand by
12:00-14:30	Activa	Activa	Stand by	Stand by
14:30-18:00	Activa	Activa	Stand by	Stand by
18:00-22:00	Apagada	Activa	Stand By	Stand By
22:00-6:00	Activa	Apagada	Stand By	Stand By

Tabla 4.3: Horario de operación de electrobombas secundarias

4.2. ELIMINACIÓN DE LOS PICOS DE CORRIENTE Y REDUCCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN EL S. DE CLIMATIZACIÓN CAP 4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Hora	CONDENSED PUMP 1	CONDENSED PUMP 2	CONDENSED PUMP 3
6:00-10:30	Apagada	Activa	Stand by
10:30-15:00	Activa	Activa	Stand by
15:00-18:30	Activa	Apagada	Stand by
18:30-22:00	Apagada	Apagada	Stand by
22:00-6:00	Activa	Apagada	Stand By

Tabla 4.4: Horario de operación de electrobombas de condensado

El método utilizado actualmente, pretende reducir el consumo de energía, ya que al principio experimenta un arranque en estrella en la cual el voltaje se reduce a un factor de $0.55V_{in}$ (voltaje de línea), y tanto la corriente como el par se reducen en $1/3$ aproximadamente de los valores de la conexión en triángulo. Al momento de iniciar este tipo de arranque la corriente típica es de $2...2.5I_n$ (corriente nominal del motor).

Con el cambio de configuración de estrella a triángulo la corriente experimenta una caída y la velocidad del motor se reduce en función de la carga. El paso a triángulo provoca un aumento espectacular de la corriente, así como la aplicación de toda la tensión de red en los devanados de las electrobombas.

El tiempo requerido para el arranque en estrella depende de la carga del motor y debe de continuar hasta que el motor haya alcanzado cerca del 75 al 80 % de su velocidad de funcionamiento para poder garantizar la post-aceleración necesaria para el cambio a triángulo. Con este arranque se produce fenómenos transitorios tanto mecánicos como eléctricos a condiciones normales, en si este tipo de arranque es bastante limitado.

La solución que se optó frente a esta problemática es el uso de variadores de frecuencia, que brinda todas los beneficios de un arrancador suave sumado la variación de velocidades del motor.

A continuación se muestra las gráficas de la intensidad de corriente con respecto a la velocidad, tanto en el arranque con estrella-triángulo, con el uso del arrancador suave y con variador de frecuencia.

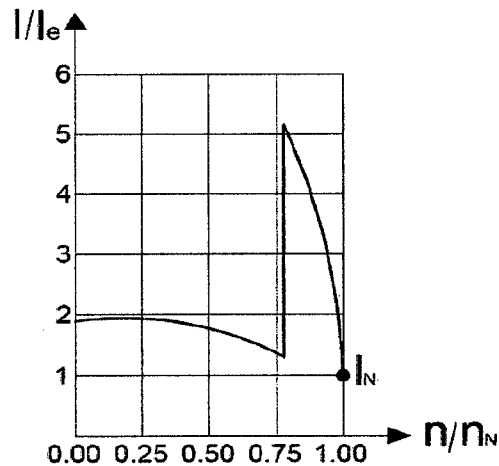


Figura 4.37: Gráfica del pico de corriente en el cambio de estrella a triángulo.

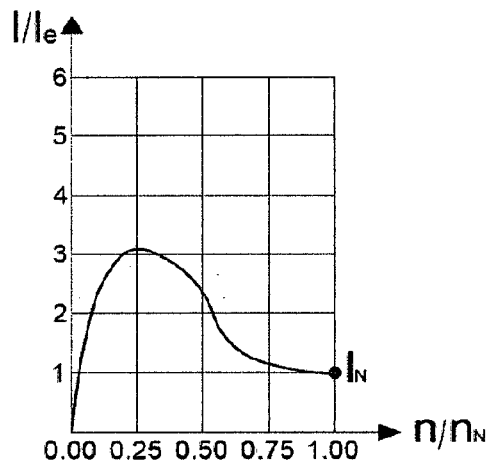


Figura 4.38: Gráfica de la intensidad de corriente con arrancador suave.

La particularidad de los variadores de frecuencia es que permiten variar la velocidad del motor y cambiar los tiempos de arranque y parada, permitiendo así la reducción del pico de corriente. Además de limitar la corriente máxima, proteger el motor frente a sobretensiones y eliminar la energía reactiva.

Gracias a la regulación de la velocidad del motor, se consigue que el motor opere de forma más eficiente, minimizando la energía consumida.

4.2. ELIMINACIÓN DE LOS PICOS DE CORRIENTE Y REDUCCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN EL S. DE CLIMATIZACIÓN CAP 4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

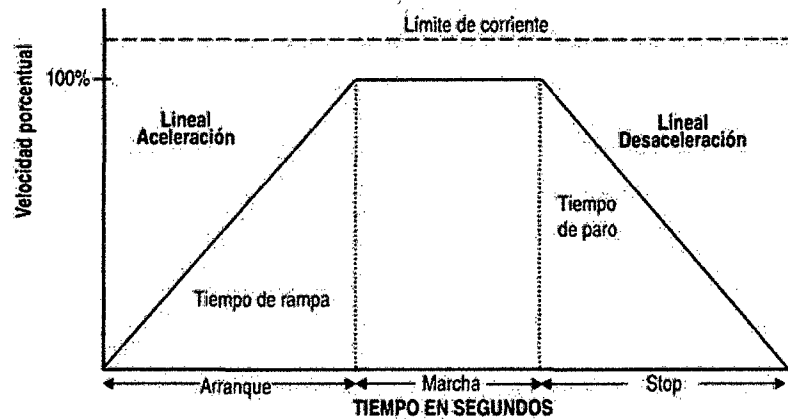


Figura 4.39: Gráfica de velocidad con variador de frecuencia.

Si por ejemplo en un ventilador instalado en las UMAS se reduce la velocidad un 20 % con respecto a la velocidad nominal, el caudal también se reducirá en un 20 %. Sin embargo el consumo eléctrico se reduce aproximadamente en un 48.8 %.³ Veámoslo en el siguiente ejemplo:

Un ventilador girando a 1400 rev/min tiene un consumo de 1500W. Si reducimos la velocidad un 20 %, 1120 rev/min vamos ver cuál será la potencia necesaria.

$$PF = 1500 \cdot \left(\frac{1120}{1400} \right)^3$$

$$PF = 768 \text{ W (48.8 \% menos con respecto al consumo inicial)}$$

Si solamente es necesario tener el ventilador al 100 % unos pocos días al año mientras que el resto del tiempo puede funcionar al 80 %, el ahorro de energía puede superar fácilmente el 50 %.

³Leyes de los Ventiladores UNE 100-230-95
Potencia $P_F = P_I \cdot \left(\frac{n_F}{n_I} \right)^3$

CAPÍTULO 5

ESTUDIO ECONÓMICO

5.1. Presupuesto General del Sistema

Los precios que se muestran a continuación están en dólares y son obtenidos de proformas de diferentes proveedores tanto locales como nacionales, en estos no se incluye el IGV.

Debemos de destacar que los equipos son referenciales y pueden ser reemplazados por otros más económicos que presenten las mismas características técnicas, siempre y cuando se asegure el correcto funcionamiento del sistema.

5.1.1. Sistema Mecánico

Se han tomado los siguientes equipos para la implementación de los sistemas mecánicos, clasificados de acuerdo a los subsistemas presentes: medición de BTU, planta de agua helada y Sistema HVAC:

ITEM	DESCRIPCION	CANT.	P. UNID.	P. TOTAL	TOTAL
SISTEMAS MECANICOS					\$161,627.00
Medidor de consumo de BTU en oficinas y locatorios					\$70,300.00
1	Transmisor de temperatura	200	\$40.00	\$8,000.00	
2	Flujometro 11/4"	26	\$600.00	\$15,600.00	
3	Flujometro 11/2"	5	\$600.00	\$3,000.00	
4	Flujometro 2"	69	\$600.00	\$41,400.00	
5	Conectores para flujómetros	100	\$23.00	\$2,300.00	
Extracción e inyección de aire, medición de nivel de CO en sótanos					\$57,545.00
6	Transmisor/sensor de CO, marca VERIS, alimentación 24VDC, salida de 4 - 20mA	63	\$500.00	\$31,500.00	
Bombas de inyector de aire					
7	switch operated current para monitoreo	14	\$85.00	\$1,190.00	
Bombas de extractores de aire					
8	switch operated current para monitoreo	2	\$85.00	\$170.00	
Bombas de inyector de aire en SSHH					
9	switch operated current para monitoreo	8	\$85.00	\$680.00	
Bombas de extractores de aire en SSHH					
10	switch operated current para monitoreo	9	\$85.00	\$765.00	
11	Bocina	7	\$120.00	\$840.00	
12	Tablero de control (incluye conex. para BMS)	7	\$3,200.00	\$22,400.00	



Planta de agua helada					\$16,257.00
Bombas Secundarias					
13	switch operated current para monitoreo	9	\$85.00	\$765.00	
Bombas Primarias					
14	switch operated current para monitoreo	9	\$85.00	\$765.00	
Bombas de Condensado					
15	switch operated current para monitoreo	9	\$85.00	\$765.00	
Tableros de bombas y Chiller					
16	Integración de analizadores de red al controlador	2	\$350.00	\$700.00	
Chiller					
17	switch operated current para monitoreo	2	\$85.00	\$170.00	
18	Transmisor de Flujo electromagnético	2	\$1,320.00	\$2,640.00	
19	Transmisor de temperatura JUMO 27mm, con salida de 4-20 mA	4	\$240.00	\$960.00	
20	Transmisor de presión diferencial MIDAS DP10- JUMO	2	\$475.00	\$950.00	
21	Módulo + sensor de aniego marca WINLAND	2	\$95.00	\$190.00	
Torres de enfriamiento					
22	Interruptor de nivel tipo flotador, de un contacto SPDT marca SOR	2	\$370.00	\$740.00	
23	switch operated current para monitoreo	2	\$85.00	\$170.00	
24	sensor de temperatura ambiente	2	\$100.00	\$200.00	
25	Transmisor de temperatura JUMO, con salida de 4-20 mA	2	\$240.00	\$480.00	
26	Placas de acero para sonadas	4	\$8.00	\$32.00	
27	Módulo + sensor de anigo marca WINLAND	2	\$95.00	\$190.00	
Bombas de Enfriamiento					
28	switch operated current para monitoreo	4	\$85.00	\$340.00	
29	Tablero de control (incluye conex. para BMS)	2	\$3,100.00	\$6,200.00	
Presunización de Escaleras					\$1,680.00
30	Presostato de presión diferencial marca JUMO	4	\$335.00	\$1,340.00	
31	switch operated current para monitoreo	4	\$85.00	\$340.00	
Sistema de HVAC					\$15,845.00
Unidad manejadora de aire en áreas comunes					
32	switch operated current para monitoreo	21	\$85.00	\$1,785.00	
33	sensor de temperatura ambiente	21	\$100.00	\$2,100.00	
34	Transmisor de temperatura JUMO, con salida de 4-20 mA	21	\$380.00	\$7,980.00	
35	Transmisor/sensor de CO2, marca Veris	2	\$390.00	\$780.00	
36	Tablero de control (incluye conex. para BMS)	1	\$3,200.00	\$3,200.00	

Tabla 5.1: Precios de los equipos del Sistema Mecánico

5.1.2. Sistema Eléctrico

En este apartado se menciona los dispositivos que manejan el sistema eléctrico de acuerdo a los subsistemas presentes para el control y monitoreo de los grupos electrógenos y tableros eléctricos utilizados en los Sistemas de Luminación, Subestaciones y medición de energía en los concesionarios.

Además se contempla el costo del tablero usado para la comunicación con el Sistema BMS ¹

¹Building Mangment System

ITEM	DESCRIPCION	CANT.	P. UNID.	P. TOTAL	TOTAL
SISTEMAS ELECTRICOS					\$22,406.00
Grupo Electrónico					\$590.00
37	Integración Modbus del Grupo Electrónico al controlador	1	\$350.00	\$350.00	
38	Transmisor de Temperatura	1	\$240.00	\$240.00	
Tablero Eléctrico					\$21,816.00
Sub estación - Tableros Principales					
39	Integración Modbus de Sub estación - Tableros Principales al controlador	1	\$350.00	\$350.00	
40	Medición de temperatura en tableros (Transmisor de temperatura ambiente)	2	\$240.00	\$480.00	
41	Transformador de corriente para medida marca Camille Bauer	36	\$75.00	\$2,700.00	
42	Analizador de redes marca Camille Bauer	12	\$655.00	\$7,860.00	
Sub estación - Celdas de Media Tensión					
43	Integración Modbus de Sub estación - Celdas de Media Tensión al controlador	2	\$350.00	\$700.00	
Tablero de iluminación					
44	Detector infrarrojo doble para techo cobertura 360° x 8mt, marca LONGHORN	110	\$35.00	\$3,850.00	
Medición de energía en concesionarios					
45	Medidor trifásico electrónico, 3H o 4H, 5-15A, 380/220V, marca ELSTER	12	\$223.00	\$2,676.00	
46	Tablero de control (incluye conex. para BMS)	1	\$3,200.00	\$3,200.00	

Tabla 5.2: Precios de los equipos del Sistema Eléctrico

5.1.3. Sistema Sanitario

A continuación se muestra el precio de los equipos a instalarse en el sistema sanitario. El desarrollo del proyecto de tesis no contempla el diseño de este Sistema, sin embargo el proyecto en sí lo engloba dentro de la Automatización del Edificio.

ITEM	DESCRIPCION	CANT.	P. UNID.	P. TOTAL	TOTAL
SISTEMAS SANITARIOS					\$9,187.00
Planta de agua fría					\$7,952.00
Cisterna de agua fría					
47	Transmisor de nivel tipo ultrasonido, salida 4-20mA USONIC	2	\$1,150.00	\$2,300.00	
Bombas de agua fría					
48	switch operated current para monitoreo	3	\$85.00	\$255.00	
49	Transmisor de presión diferencial MIDAS DP10- JUMO	3	\$475.00	\$1,425.00	
Tableros en bombas					
50	Integración Modbus de Analizador de Red al controlador	1	\$350.00	\$350.00	
Tuberías de agua					
51	Transmisor de flujo electromagnético de 4" ARKON para agua	0	\$2,330.00	\$0.00	
52	Placas de acero para sonadas	24	\$8.00	\$192.00	
Cisternas de agua contra incendios					
53	Transmisor de nivel tipo ultrasonido, salida 4-20mA USONIC	1	\$1,150.00	\$1,150.00	
Cuartos de bombas y SSHH públicos					
54	Módulo + sensor de anillo marca WINLAND	24	\$95.00	\$2,280.00	
Planta sumidero o aguas negras					\$1,235.00
Bombas					
55	switch operated current para monitoreo	1	\$85.00	\$85.00	
Pozo sumidero					
56	Transmisor de nivel tipo ultrasonido, salida 4-20mA USONIC	1	\$1,150.00	\$1,150.00	

Tabla 5.3: Precios de los equipos del Sistema Sanitario

5.1.4. Sistema Automatización

En este apartado se menciona los dispositivos que manejan el sistema de Automatización del proyecto detallando el costo de acuerdo a cada subsistema; siendo estos el sistema de seguridad, los controladores programables y el sistema de supervisión scada.

ITEM	DESCRIPCION	CANT.	P. UNID.	P. TOTAL	TOTAL
AUTOMATIZACIÓN					\$55,905.00
Sistema de Seguridad					\$3,430.00
57	Integración de sistemas (CCTV, Alarmas, Control Acceso,	4	\$350.00	\$1,400.00	
58	Current Switch, para monitoreo	3	\$85.00	\$255.00	
59	Transmisor de presión diferencial	3	\$475.00	\$1,425.00	
60	Integración del grupo eléctrico a la red MODBUS	1	\$350.00	\$350.00	
Controladores					\$32,472.00
61	PLC MICRO850 - 14 ENTRADAS A 24VDC/10 SALIDAS A RELE	19	\$429.00	\$8,151.00	
62	MODULO ENCHUFABLE DE 4 ENTRADAS A VOLTAJE/CORRIENTE	19	\$149.00	\$2,831.00	
63	MODULO DE EXPANSION DE 8 ENTRADAS A VOLTAJE/CORRIENTE	13	\$380.00	\$4,940.00	
64	MODULO ENCHUFABLE DE 4 SALIDAS A RELE	5	\$69.00	\$345.00	
65	MODULO DE EXPANSION DE 4 SALIDAS A VOLTAJE/CORRIENTE	4	\$220.00	\$880.00	
66	MODULO DE ENCHUFABLE DE 4 SALIDAS A VOLTAJE/CORRIENTE	15	\$89.00	\$1,335.00	
67	MODULO EXPANSION DE 16 SALIDAS A RELE	4	\$170.00	\$680.00	
68	MODULO EXPANSION DE 32 ENTRADAS A 24VDC	2	\$230.00	\$460.00	
69	FUENTE DE ALIMENTACION 220/24VDC@5AMP	22	\$450.00	\$9,900.00	
70	SWITCH ETHERNET 5 PUERTOS PHOENIX CONTACT, ALIMENTACION 24VDC	5	\$150.00	\$750.00	
71	TABLERO ELECTRICO DE 800X600mm para adosar (incluye filtro, ventilador extractor de aire y accesorios)	22	\$100.00	\$2,200.00	
Controlador Central					\$9,671.00
72	TERMINADOR FINAL DERECHO PARA COMPACTBUS	1	\$36.00	\$36.00	
73	PROCESADOR COMPACTLOGIX ETHERNET RING (2MBYTES)	1	\$3,160.00	\$3,160.00	
74	FUENTE DE ALIMENTACION PARA COMPACT I/O A 110/220VAC (4A@5V, 2@24VCC)	1	\$475.00	\$475.00	
75	Modbus Master/Slave Network Interface Module for CompactLogix	1	\$3,000.00	\$3,000.00	
76	EtherNet/IP Client/Server Communication Module for CompactLogix	1	\$3,000.00	\$3,000.00	
Sistema SCADA					\$10,332.00
77	FactoryTalk Site Edition	1	\$3,800.00	\$3,800.00	
78	RSLogix 5000 MiniEdition	1	\$882.00	\$882.00	
79	View Point con tres licencias para usuario en red	1	\$3,250.00	\$3,250.00	
80	Crystal Report	1	\$400.00	\$400.00	
81	Windows Server 2008	1	\$400.00	\$400.00	
82	Estación de trabajo con CPU 8GB RAM -2TB DISCO DURO, Core i7, monitor 19" LG	1	\$1,600.00	\$1,600.00	

Tabla 5.4: Precios de los equipos del Sistema de automatización

5.1.5. Costos Varios

Aquí se muestran los equipos y componentes destinados al gasto de varios.

ITEM	DESCRIPCION	CANT.	P. UNID.	P. TOTAL	TOTAL
VARIOS					\$41,000.00
Materiales Varios					\$33,500.00
83	Mano Obra	1	\$15,000.00	\$15,000.00	
84	Puesta en Marcha	1	\$4,500.00	\$4,500.00	
85	Cables y accesorios	1	\$14,000.00	\$14,000.00	
Ingeniería					\$7,500.00
86	Planos de ingeniería	1	\$6,000.00	\$6,000.00	
87	Planos de detalle	1	\$1,500.00	\$1,500.00	

Tabla 5.5: Precios de los equipos Varios



5.1.6. Costo total de la Inversión

Conociendo todos los precios de los equipos y los costos de mano de obra para la implementación de los Sistemas Lumínico, HVAC y Automatización finalmente podemos conocer la inversión total.

DESCRIPCION	COSTO
Sistema Mecánico	\$161,627.00
Sistema Eléctrico	\$22,406.00
Sistema Sanitario	\$9,187.00
Sistema de Automatización	\$55,905.00
Costos Varios	\$41,000.00
SUBTOTAL	\$290,125.00

Tabla 5.6: Costo SubTotal de la Inversión

5.2. Costo total del Proyecto

El costo total de inversión del proyecto es mostrado a continuación. En la presente tesis solo se considera el diseño del Sistema de Automatización del edificio Park Office la Molina, sin embargo se adjunta el siguiente cuadro para tener una idea general de la inversión realizada cuando el control y monitoreo va de la mano con la tecnología y la investigación.

PRESUPUESTO RESUMEN		
ITEM	DESCRIPCION	PRECIO
1	SISTEMA AUTOMATIZACION	US\$ 290,125.00
2	SISTEMA CCTV	US\$ 177,706.06
3	SISTEMA ALARMAS CONTRA INCENDIO	US\$ 210,894.44
4	SISTEMA DE CONTROL DE ACCESO	US\$ 66,929.30
5	GASTOS GENERALES Y UTILIDAD	US\$ 52,195.84
TOTAL EN DOLARES AMERICANOS		US\$ 797,850.64
I.G.V. 18%		US\$ 143,613.11
TOTAL EN DOLARES AMERICANOS + I.G.V.		US\$ 941,463.75
CONDICIONES COMERCIALES		
- FORMA DE PAGO : 30 % DE ADELANTO / SALDO VALORIZACIONES QUINCENALES		
- TIEMPO DE ENTREGA : 06 MESES		
- VALIDEZ DE OFERTA : 30 DIAS		
- TIEMPO DE GARANTIA : 12 MESES		

Tabla 5.7: Costo total del Proyecto



5.3. Vida Útil del Proyecto

El presente proyecto fue diseñado basado en los estándares y normativas presentes en los Sistemas Lumínicos, Sistemas Mecánicos, Sistemas Eléctricos, Sistemas de Seguridad. Normas como "Leed" están presentes en este proyecto como principal encaminador, así como estándares ANSI, DIN, ASHRAE, Nch, RNE, ASA, ASME y el código nacional de electricidad.

Por lo cual teniendo presente estos estándares y normativas se considera que la vida útil del Proyecto corresponden a unos 10 a 15 años. Este tiempo se alargará o acortará dependiendo el mantenimiento y adecuado control de los Sistemas.

Sin embargo con respecto a la tecnología equipada basada en la Normativa LEED, se tiene presente que la instrumentación, planificación y control aplicado tendrán un tiempo en el mercado no menor de 10 años. Por lo cual garantiza una buena inversión. Debido a que las ganancias básicas obtenidas permitirán recuperar la inversión en un plazo no mayor a 2 años.

A continuación se presenta una tabla donde se muestra las ganancias promedios obtenidas anualmente a una 60 % de utilidad en los primeros años. Mostrando además el tiempo promedio en el cual se recupera la inversión.

DESCRIPCIÓN	VALOR MENSUAL	TIEMPO	TOTAL
Ingresos mensuales de alquiler de oficinas	\$50,000.00	24 meses	\$1,200,000.00
Ingresos mensuales del Centro Comercial	\$12,500.00	24 meses	\$300,000.00
Ingresos mensuales de estacionamiento Vehicular	\$5,000.00	24 meses	\$120,000.00
Inversión Total del Proyecto	-\$949,442.26	-	-\$949,442.26
Gastos mensuales de servicios básicos	-\$7,500.00	24 meses	-\$180,000.00
GANANCIA			\$490,557.74

Tabla 5.8: Vida útil y Ganancias del proyecto

Los valores mostrados en la tabla fueron obtenidos de un estudio de inversión realizado por profesionales calificados, sin embargo solo se muestran los resultados generales de este estudio debido a la confidencialidad del caso.

CONCLUSIONES

1. Con la implementación del sistema de automatización y supervisión se logrará el control total del Edificio Park Office la molina de manera eficiente; permitiendo el ahorro energético a través de un control óptimo para cada Sistema.
2. El diseño Luminíco desarrollado de acuerdo al área del edificio, cumple los estándares requeridos en el manual de Edificaciones y la certificación Leed.
3. Los Sistemas de Climatización y HVAC en un edificio tiene un mayor consumo energético. Esto es debido al sistema de enfriamiento a instalarse en las diferentes áreas. Producto de ello y teniendo en cuenta que el 60 % del consumo energético viene de este sistema; el proyecto de tesis se centró en desarrollar un control que permita el ahorro energético óptimo del edificio.
4. Para realizar una adecuada automatización es de suma importancia conocer el proceso que se desea controlar, esta parte es clave ya que es aquí donde se define la programación y la manera de operación que se requiere.
5. El metrado de las señales del sistema es un elemento clave en la Instrumentación ya que permite conocer el número de entradas y salidas tanto digitales, analógicas y de comunicación en el proceso, así como también los puntos de reserva requeridos para cualquier eventualidad.
6. Con la puesta en marcha de las bombas primarias, bombas secundarias, bombas de condesado y Torres de enfriamiento a través de variadores de frecuencia se produce una reducción significativa del consumo de corriente y también se alarga la vida de los elementos eléctricos ya que brinda un sistema de protección frente a corrientes transitorias y recursivas.
7. La ubicación estratégica de los Transmisores tanto de flujo como de presión y los datos brindados por los elementos es de suma importancia para el proceso ya que se garantiza un flujo contante de agua y aire tanto en las torres de enfriamiento, UMAS, chiller y ductos de ventilación.



8. Según resultados recientes, gracias al sistema de automatización realizado en el Edificio Park Office - La Molina en los Sistemas Lumínicos, Sistemas Mecánicos y Sistemas de Control, estos han permitido el ahorro energético y de agua en el Edificio en un 30 % ; valor que supera a la eficiencia energética esperada.
9. La capacitación a los operarios del Sistema de Monitoreo es de suma importancia, debido a que esto permitirá prevenir y evitar fallas en los sistemas del edificio.
10. El proyecto contempla una inversión elevada, sin embargo es factible de implementar ya que al cabo del primer año se puede recuperar la inversión, esto gracias al sistema de automatización implementado para el ahorro energético.
11. Las acciones realizadas en el prototipo permitió tener un panorama general de control a través de comunicaciones industriales. Acciones diseñadas para ser implementadas en el Sistema de Automatización del edificio.
12. La ubicación de los elementos de control, equipos de instrumentación y monitoreo cumplen un rol importante en la automatización; es por ello que debe ser realizado por profesionales calificados en el área.
13. La automatización en los edificio es una de las alternativas para el ahorro energético del siglo XXI, permitiendo el ahorro económico y la reducción de agentes contaminantes que perjudican el medio ambiente.
14. Los refrigerantes ecológicos predominan en los Sistemas de enfriamiento; a pesar de su elevado coste, estos permiten la eficiencia del compresor y la disminución de agentes tóxicos.
15. Este proyecto de Tesis esta desarrollado de tal forma que sea decifrible para el lector sin importar los conocimientos previos al tema de estudio.

RECOMENDACIONES

1. Por los resultados y conclusiones finales de esta investigación se recomienda instalar el sistema propuesto en el Edificio.
2. Se recomienda promulgar este proyecto a todos los grandes edificios de Lima y provincias con el fin de evitar el gasto innecesario de energía eléctrica y consumo desorbitado de agua; incentivando y dando a conocer así nuevas tendencias de este proyecto.
3. Implementar en un futuro un control óptimo en el sistema de Climatización es factible ya que gracias a esto se puede tener un control más riguroso y preciso de las variables presentes en este sistema; permitiendo un ahorro energético mayor.
4. Con las pruebas realizadas a pequeña escala y las conclusiones obtenidas, se recomienda su implementación en el edificio Park Office la Molina y en cada una de sus instalaciones.
5. Luego de la realización del sistema de control y monitoreo se debe capacitar a todo el personal ya sea en la parte operacional, mantenimiento y gerencial para que puedan saber el funcionamiento de cada uno de los equipos que intervienen en dicho proceso.
6. El personal de mantenimiento deberá contar con las herramientas necesarias para la detección de fallas tanto de la parte eléctrica y mecánica.
7. Se recomienda que la unidad de cálculo en la medición de btus sea supervisado por personal calificado.
8. Mensualmente se deberá de revisar las borneras de los controladores ya que puede encontrarse a veces alguna de ellas flojas y en caso de los sensores se debe de hacer la calibración correspondiente.
9. Se deberán crear planes de mantenimiento preventivo mensuales para el sistema de control y monitoreo, también un plan de mantenimiento correctivo ya que por algún descuido algún elemento podría fallar en algún momento.



10. Para ingresar los parámetros de los motores a cada uno de los variadores de frecuencia se debe tener en cuenta que se debe realizar sin carga.
11. La base de registros de los datos en el sistema scada se borra automáticamente cada 7 días.
12. Cualquier persona ajena al sistema de control no podrá manipular el scada ya que para ingresar a este se necesita de un usuario y contraseña creados previamente por el administrador de dicho sistema.



BIBLIOGRAFÍA

- [1] "ASHRAE," 2014.
- [2] "Reglamento Nacional de Edificaciones," 2014.
- [3] ACTIU. *Leadership in Energy & Environmental Design*. Technical Report, Obtenido de <http://www.actiu.com/es/empresa/actiu-leed/actiu-que-es-leed>.
- [4] American Society of Heating, Refrigerating and Inc Air-Conditioning Engineers. *Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*. Technical Report, ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2004., 2019.
- [5] Bolton, W. *Ingeniería de control* (2da edicion Edition). 2001.
- [6] Bourhan Tashtoush, M. Molhim, M. Al-Rousan. "Dynamic model of an HVAC system for control analysis," *ENERGY*, 1–17 (2004).
- [7] Calvo, Fernando Sevillano. "Variadores de Frecuencia," *Sistemas de Regulación y Control Automáticos*, 143–152 (2010).
- [8] Carlos Andrés Gómez Otero, Marlon de JesusDaza Corzo, Marlon Julian Quintero. *Chiller*. Technical Report, Unidades Tecnológicas de Santander, Tecnología en electromecánica, Bucaramanga, 2012.
- [9] Corbera, Miguel Custodio, "Diseño de un Sistema Remoto para el monitoreo y control de reservorios en el distrito de Chiclayo," 2014.
- [10] Council, U.S Green Building. *Certificación LEED*. Technical Report, Obtenido de <http://www.usgbc.org/leed>.



- [11] DIN-5035, NORMA. *Diseño de Iluminación*. Technical Report, Obtenido de http://javeriana.edu.co/arquidis/educacion_continua/documents/Textosiluminacioncomercial-Lectura.pdf.
- [12] Gallo, Aldo German Yenque. *Control de agua en los pozos tubulares para el riego en el sector agrícola-Olmos*. Technical Report, 2007.
- [13] HVAC&R, Mundo. *ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*. Technical Report, Obtenido de <http://www.mundohvacr.com.mx/mundo/2005/04/ashrae-american-society-of-heating-refrigerating-and-air-conditioning-engineers/>, 2014.
- [14] Iguen. *Ahorro Energético*. Technical Report, Obtenido de <https://iguen.es/blog/tag/ahorro-energetico/>, 2015.
- [15] LEED. *ASHRAE 90.1-2007 Mandatory Requirements*. Technical Report, Leadership in Energy & Environmental Design.
- [16] Mandado, E., Marcos J. Fernández C. Armesto J.I. *Autómatas Programables y Sistemas de Automatización* (2da edición Edition). 2009.
- [17] Murillo, Ruben Villanueva. *Balance térmico de un enfriador de agua*. Technical Report, Obtenido de <http://es.slideshare.net/rubenvillanuevamurillo1/balance-trmico-de>, 2012.
- [18] Office, Park. *Park Office la Molina*. Technical Report, Obtenido de <http://www.parkoffice.pe/celmo/>.
- [19] Pere Ponsa, Toni Granollers. *Diseño y Automatización Industrial*. Technical Report, Obtenido de <http://www.epsevg.upc.edu/hcd/material/lecturas/interfaz.pdf>.
- [20] Rivas, Paulino. *Ahorro de Energía con Variadores de frecuencia*. Technical Report, Obtenido de <http://instalacionesyeficienciaenergetica.com/ahorro-de-energia-con-variadores-de-frecuencia/>.
- [21] Rockwell, A. *Guía de selección ControlLogix*, 2008.
- [22] Rockwell, A. *Factory Talk View Site Edition User's Guide*, 2012.
- [23] Rockwell, A. *Power Flex Low Voltage AC Drives-Selection Guide*, 2013.
- [24] SEIA-IGP. *Guía para la determinación de estudio del Impacto Ambiental*. Technical Report, Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental.

- [25] Simulink. *Dynamic System Simulation for MATLAB*.
- [26] Smith, C.A. *Control Automático de Procesos* (1ra edicion Edition). 1991.
- [27] UNMSM. *Indicador de Rentabilidad de Proyectos: el Valor Actual Neto (VAN) o el Valor Económico Agregado (EVA)*. Technical Report, Obtenido de http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/indata/v14_n1/pdf/a03.pdf, 2011.
- [28] Yan Chen, Stephen Treado. "Development of a simulation platform based on dynamic models for HVAC control analysis," *Energy & Buildings*, 376–386 (2013).

ANEXO A

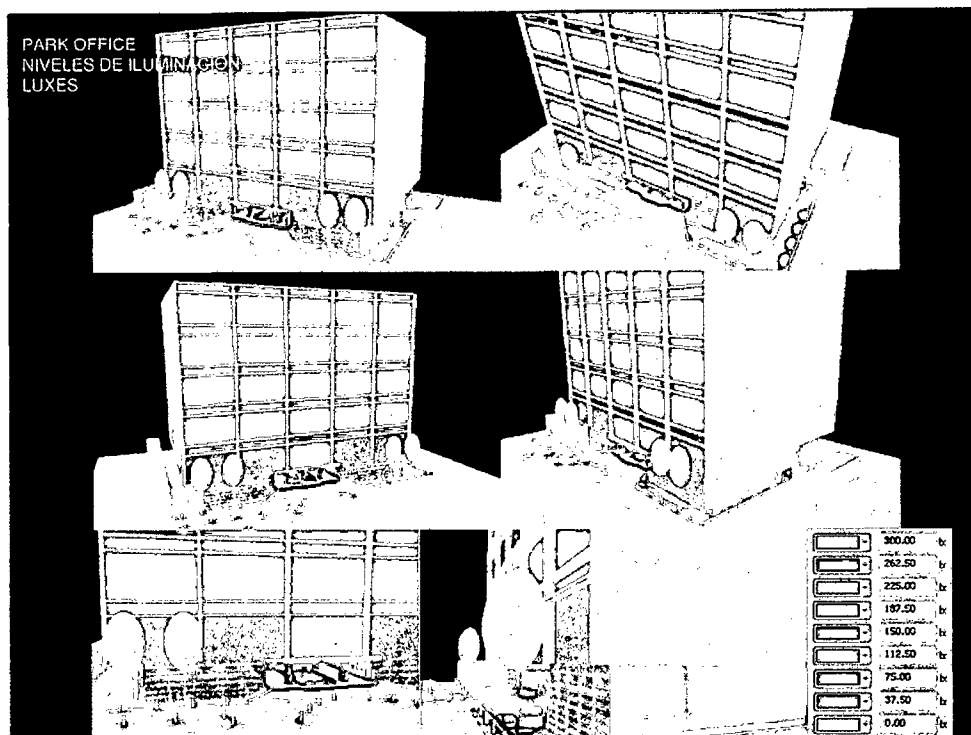
ESTUDIO FOTOMÉTRICO EXTERIOR DEL EDIFICIO PARK

OFFICE LA MOLINA

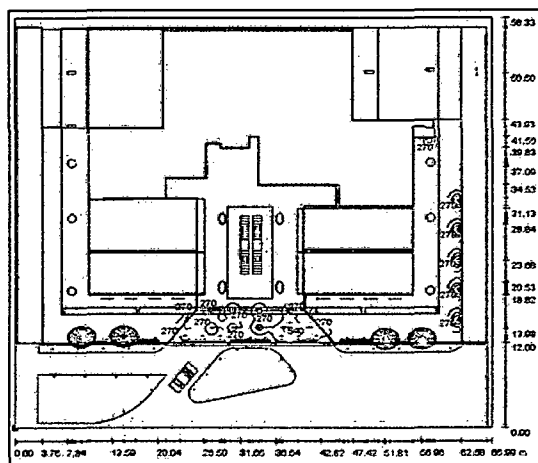
Y CÁLCULO DEL SISTEMA DE MEDIA TENSIÓN Y PUESTA A

TIERRA

ESTUDIO FOTOMETRICO EXTERIORES EDIFICIO PARK OFFICE - LA MOLINA LIMA PERU

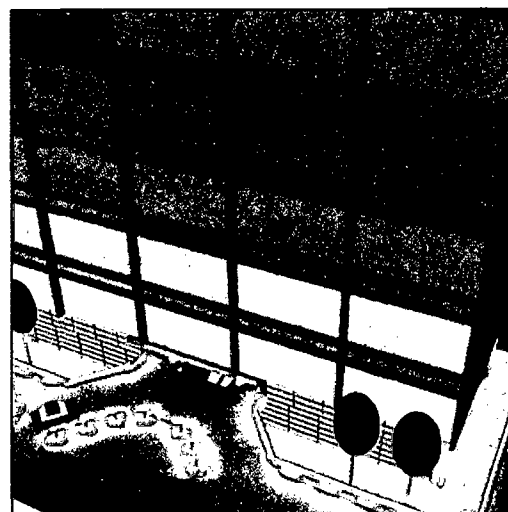


CUADRO NIVELES ILUMINACION - LUXES



CURVAS ISOLUX

LPD : 1.77 w/m2 SECTOR INGRESO



**VISUALIZACION DISTRIBUCION
NIVELES ILUMINACION**

ORDEN DE LOCALIZACION



PLANO DE AREA

PROPIETARIO:

ESTUDIO DE LUZ

DISEÑO:

EDIFICIO PARK OFFICE

DESCRIPCION:

ESTUDIO FOTOMETRICO EXTERIORES

ESCALA:

SC

FECHA:

05-03-2014

LAMPAS:

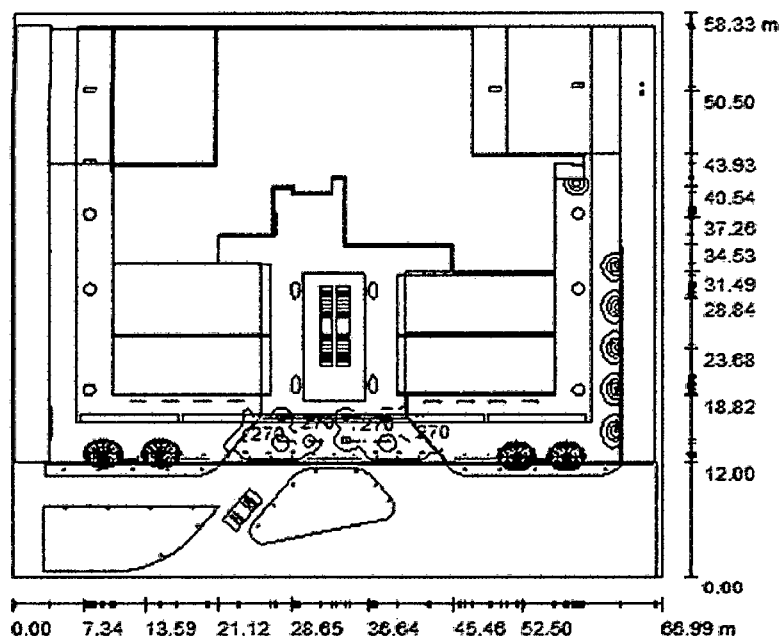
IA-CL



UNIVERSIDAD NACIONAL
PEDRO RUIZ GALLO

Proyecto elaborado por
VSLD ESTUDIO DE LUZ
Teléfono
Fax
e-Mail

Fachada / Resumen



Altura del local: 46.000 m, Factor mantenimiento: 0.80

Valores en Lux, Escala 1:749

Superficie	u [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Workplane	/	88	0.03	1324	0.000
Floor	20	28	0.01	4104	0.000
Ceiling	70	1.26	0.03	7.79	0.023
Paredes (4)	50	2.11	0.02	44	/

Workplane:

Altura: 0.850 m
Trama: 128 x 128 Puntos
Zona marginal: 0.000 m

Lista de piezas - Luminarias

N°	Pieza	Designación (Factor de corrección)	I (Luminaria) [lm]	I (Lámparas) [lm]	P [W]
1	6	CASTALDI D21/MH150 D21/MH150_11 (1.000)	8969	15000	150.0
2	16	LAMP 4741823 FIL EMPOT. 1x28/54W OPAL (1.000)	1468	4450	54.0
3	12	LAMP 4901400 MODULO A HIT 35/70/150W (1.000)	1689	3300	39.0
4	24	LAMP 4941662 MODULO A LED 2000Lm WARM-FL (1.000)	1901	1904	23.0
5	23	LAMP 5901303 BALIZA FAR 520 TC-TSE (1.000)	421	1500	23.0
6	2	LAMP 6641260 MICRO PROA HIT 35W ASIM. (1.000)	1888	3300	39.0



Proyecto elaborado
por
Teléfono
Fax
e-Mail

Fachada / Resumen

Lista de piezas - Luminarias

N°	Pieza	Designación (Factor de corrección)	I (Luminaria) [lm]	I (Lámparas) [lm]	P [W]
7	38	LAMP 6841023 STEP EMPOT. SIMETRICA 14W/830 (1.000)	478	1200	14.0
8	23	LAMP 7941003 AVANT80 LED 10W/W-MFL BASE (1.000)	383	385	10.0
9	6	LAMP 8401523 FLASH 4 SIMETRIC HIT 70W/942 (1.000)	4944	6500	70.0
10	85	LAMP 8601042 FINE LED LINE HI-DIS 18W W-VWFL (1.000)	783	783	18.0
Total:			279821	447606	6103.0

Valor de eficiencia energética: $1.56 \text{ W/m}^2 = 1.77 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Base: 3907.57 m^2)

Proyecto elaborado
por
Teléfono
Fax
e-Mail

Fachada / Resultados luminotécnicos

Flujo luminoso total: 279821 lm
Potencia total: 6103.0 W
Factor mantenimiento: 0.80
Zona marginal: 0.000 m

Superficie	Intensidades lumínicas medias [lx]			Grado de reflexión [%]	Densidad lumínica media [cd/m²]
	directo	indirecto	total		
Workplane	83	5.63	88	/	/
Floor	26	2.27	28	20	1.79
Ceiling	0.44	0.82	1.26	70	0.28
Wall 1	0.55	3.36	3.91	50	0.62
Wall 2	0.53	2.02	2.56	50	0.41
Wall 3	0.12	0.23	0.35	50	0.06
Wall 4	0.15	1.49	1.63	50	0.26

Simetrías en el plano útil

E_{\min} / E_{\max} : 0.000 (1:3240)

E_{\min} / E_{\max} : 0.000 (1:48472)

Valor de eficiencia energética: $1.56 \text{ W/m}^2 = 1.77 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Base: 3907.57 m^2)





3.2 CALCULO JUSTIFICATIVO

DISEÑO DE SISTEMA DE UTILIZACION EN MEDIA TENSION

22.9 kV

CLIENTE: CENTRO EMPRESARIAL LA MOLINA S.A.C.

PROYECTO: SISTEMA DE UTILIZACIÓN EN MT - PROYECTO LAS CUMBRES

I. DIMENSIONAMIENTO DE LOS CABLES A UTILIZAR

P (Potencia a transmitir):	934.00 KW
S (Potencia Instalada):	1600.00 KVA (02 transformadores de 800 KVA)
Vn (Tensión de Servicio)	22.90 kV
Cos ϕ (Factor de Potencia):	0.85
Sec (Potencia de Corto Circuito)	360.00 MVA
t _{act} (Tiempo de actuación de protección):	0.2 sg
T _t (Temperatura del terreno):	25 °C
Profundidad de instalación del cable:	1.00 m
Resistividad térmica del terreno:	120.00 °C - cm/W
<u>Cable subterráneo:</u>	
S (Sección de cable):	50.00 mm ²
Capacidad del Cable (Amp):	186.00 Amp
Tipo de cable a utilizar:	N2XSY
Longitud:	370.00 m
T _{operación} :	80.00 °C
frecuencia de la red:	60.00 Hz
Enterrado:	SI

II. DATO APROXIMADO DEL TRANSFORMADOR 800.00 KVA

Alto:	1,620.00 mm
Ancho:	1,510.00 mm
Profundidad:	850.00 mm
Peso:	1,800.00 kg

III. CALCULO DE CORRIENTE DE CARGA DEL CABLE SUBTERRANEO

a) Factores de corrección:

Resistividad térmica del terreno:	1.09 f _r
Temperatura del terreno:	1.00 f _t
Profundidad de Instalación:	1.00 f _p

$$F_{eq} = f_r \times f_t \times f_p$$

$$F_{eq} = 1.09$$

b) Cálculo de la corriente nominal:

$$I_{no \min al} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V}$$

Donde:

S = Potencia Instalada en (KVA)

V = Tensión de trabajo (kV)

$$I_{nominal} = 40.84 \text{ A}$$



c) Cálculo de la corriente de diseño del cable subterráneo:

$$I_{diseño} = \frac{I_{Cable}}{F_{eq}}$$

Donde:

I_{cable} = Corriente nominal del cable - Catálogos LDS (A)

F_{eq} = Factor de Corrección

$$I_{diseño \text{ del cable}} = 170.64 \text{ A}$$

d) Cálculo por capacidad:

$$I_{diseño} = 1.25 \times I_{nominal}$$

$$I_{diseño \text{ de carga}} = 50.42 \text{ A}$$

$I_{diseño \text{ del cable}} > I_{diseño \text{ de carga}}$ --- El Cable Cumple con la Capacidad

IV. CÁLCULO CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO

a) Corriente de cortocircuito:

$$I_{cc} = \frac{S_{cc}}{\sqrt{3} \times V}$$

Donde:

S_{cc} = Potencia de cortocircuito (MVA)

V = Tensión de trabajo (kV)

$$I_{cc} = 9.08 \text{ kA}$$

b) Corriente de cortocircuito térmicamente admisible por el cable subterráneo:

$$I_{km} = \frac{0.14356 \times S}{\sqrt{t_{act}}}$$

Donde:

S = Sección del cable a utilizar en mm²

t_{act} = Temperatura de actuación de la protección en °C

$$I_{km} = 16.05 \text{ kA}$$

Debe cumplirse que:

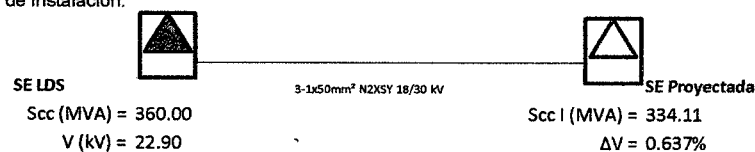
$$I_{km} > I_{cc}$$

$$16.05 > 9.08$$

Cumple la condición

V. CÁLCULO DE LA POTENCIA Y CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO EN SUBESTACIÓN DE LLEGADA

Esquema de instalación:



a) Cálculo de la impedancia del sistema:

$$X_{red} = \frac{V_n^2}{S_{cc}}$$

Donde:

S_{cc} = Potencia de cortocircuito (MVA), en el punto de entrega

V_n = Tensión de trabajo (kV)

$$X_{red} = 1.46 \text{ Ohm}$$

$$Z_{sistema} = 0.0000 + j 1.4567$$

b) Cálculo de la impedancia del cable subterráneo:

Los parámetros del cable a utilizar son los siguientes

$$\begin{array}{ll} R \text{ (Ohm/Km)} = & 0.4930 \\ X \text{ (Ohm/Km)} = & 0.2763 \end{array} \quad \begin{array}{ll} r_{\text{cable}} = & \mathbf{0.1824 \text{ Ohm}} \\ x_{\text{cable}} = & \mathbf{0.1022 \text{ Ohm}} \end{array}$$

$$Z_{\text{cable}} = \mathbf{0.1824 + j 0.1022}$$

c) Cálculo de impedancia de cortocircuito en las barra de MT de la subestación proyectada:

$$Z_{\text{cc}} \text{ ó } Z_{\text{total}} = \mathbf{0.1824 + j 1.5589}$$

$$Z_{\text{Total}} = \sqrt{(r_{\text{Cable}} + r_{\text{conductor}})^2 + (X_{\text{red}} + X_{\text{Cable}} + X_{\text{conductor}})^2}$$

$$Z_{\text{total}} = \mathbf{1.57 \text{ Ohm}}$$

d) Cálculo de la Potencia de Cortocircuito en la subestación proyectada:

$$S_{\text{cc}} = \frac{V_n^2}{Z_{\text{cc}}}$$

Donde:

V_n = Tensión de trabajo (kV)

Z_{cc} = Impedancia de cortocircuito o total (Ohm)

$$S_{\text{cc}} = \mathbf{334.11 \text{ MVA}}$$

e) Cálculo de la Corriente de Corto Circuito:

$$I_{\text{cc}} = \frac{S_{\text{cc}}}{\sqrt{3} \times V}$$

Donde:

S_{cc} = Potencia de cortocircuito en la Subestación proyectada (MVA)

V = Tensión de trabajo (kV)

$$I_{\text{cc}} = \mathbf{8.42 \text{ kA}}$$

f) Cálculo de la Corriente de Choque: (Corriente Máxima de corto circuito)

$$I_{\text{CH}} = 1.8 \times \sqrt{2} \times I_{\text{cc}}$$

$$I_{\text{CH}} = \mathbf{21.44 \text{ kA}}$$

VI. CÁLCULO DE LA CAIDA DE TENSIÓN EN SUBESTACIÓN DE LLEGADA

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} \times L \times I_n \times (r \cos \phi + x \sin \phi)}{1000}$$

Donde:

L = Distancia (m)

I_n = Corriente nominal para la carga total del sistema

r = Resistencia del cable y conductor proyectado

x = Inductancia del cable y conductor proyectado

$$\begin{array}{ll} \Delta V = & \mathbf{14.60 \text{ V}} \\ \Delta V (\%) = & \mathbf{0.637\%} \end{array} \quad \ll 5\% \text{ Cumple Condición}$$

VII. DIMENSIONAMIENTO DE FUSIBLES M.T. (TRANSFORMADORES)

a) Por corriente de inserción:

$$12 \times I_{n\text{-total}} \quad \longrightarrow \quad \mathbf{0.1 \text{ seg}} \quad \dots(\text{I})$$

b) Por corriente máxima admisible (efectos térmicos):

$$20 \times I_{n\text{-total}} \quad \longrightarrow \quad \mathbf{2.0 \text{ seg}} \quad \dots(\text{II})$$



b.1. Para el transformador de 800 KVA:

tenemos que:

$$I_{n-t} = \frac{P_r}{\sqrt{3} \times V}$$

Potencia del Trafo : 800.00 KVA

Vn (tensión de servicio): 22.90 kV

Potencia: (KVA)	12*In-t (A)	20*In-t (A)
800.00	242.03	403.39

de (ii) tenemos: $20 \times I_{n-total} = 403.39 \text{ A}$

con estos datos vamos al Gráfico y escogemos In del fusible.

50 A → Para la potencia total de: 800.00 KVA

Para el Seccionador:

Pot. S.E. = 800.00 KVA

f = 1.50

In = 20.17 A

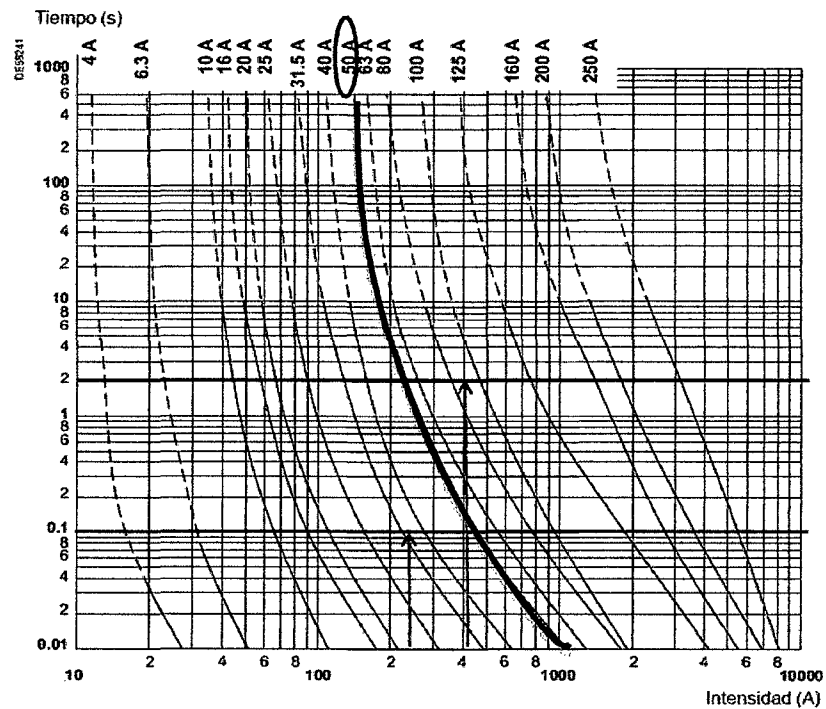
ISE = 20.17 A

If = 30.25 A

Se escoge fusibles de:

50 A

Curva de Fusibles: (Curvas características tiempo-intensidad) 3,6-7,2-12-17,5-24-36 kV



VIII. CÁLCULO DE LA VENTILACIÓN

Cálculo del caudal para ventilación de la subestación:

$$Vol = \frac{P}{(1.16 \times \theta_a)} = \frac{m^3}{seg}$$

donde:

P = pérdidas totales del transformador o transformadores en kW

θ_a = Aumento de la temperatura admitido en el aire (máximo 20°C)

Las pérdidas para el trafo es:

Pot Transf : 800.00 KVA

Pérdidas : 13.10 kW (Para transformadores secos)

El aumento de temperatura a utiliza es de: 15 °C

$$Vol = 0.7529 \text{ m}^3/\text{seg}$$

El caudal total por los dos transformadores ubicados en la subestacion sera:

$$Vol = 1.5057 \text{ m}^3/\text{seg}$$

La ventilación será del tipo forzada con extractores de potencia total de:

0.12 Kw

IX. Cálculo de resistencia de puesta a tierra:

Electrodo vertical:

$$R3 = \frac{\rho}{4\pi L} \left[\ln \left(\frac{4L}{a} \right) - 1 \right]$$

donde:

 $\rho = 300 \text{ Ohm}\cdot\text{m}$ (resistividad del terreno con tierra de chacra) $L = 2,40 \text{ m}$ (longitud de la varilla) $a = 0,0079 \text{ m}$ (radio de la varilla 5/8)

En media tensión se debe obtener:

$$R \leq 25.00 \text{ Ohm}$$

reemplazando en la fórmula tenemos:

$$R = 60.67 \text{ Ohm}$$

considerando aditivos para reducción del valor de la resistencia al 25%

$$R = 15.17 \text{ Ohm}$$

Para los pozos de tierra para media y neutro serán menores de 25 Ohm respectivamente

X. Cálculo del Radio de Curvatura del cable:

Según la Tabla 15 del CNE - Regla 190 - 102 (Radios de curvatura - Cables de alta tensión)

$$r_{\text{curvatura}} = 12_{\text{veces}} \times d_{\text{exterior}}$$

Por lo cual para un cable de sección de 50mm² del tipo N2XSY su diametro exterior es de:

31.0 mm

$$\begin{aligned} r_{\text{curvatura}} &= 12 \times 31.0 \\ r_{\text{curvatura}} &= 372 \text{ mm} \end{aligned}$$

La altura mínima que tiene que tener el pollo de concreto para el acceso y curvatura de los cables es de:

$$\begin{aligned} h_{\text{mín}} &= r_{\text{curvatura}} + d_{\text{exterior}} \\ h_{\text{mín}} &= 0.372 \text{ m} + 0.031 \text{ m} \\ h_{\text{mín}} &= 0.403 \text{ m} \Rightarrow 0.50 \text{ m} \end{aligned}$$



CENTRO COMERCIAL
CALCULO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA -
 Según IEEE Std 142 - 1991 - Tabla 13

A. SISTEMA DE PUESTA A TIERRA N°1 (contrapeso)

1. Datos :

Resistividad del terreno	1000 ohm - m
Longitud de contrapeso (L)	125.00 m
Profundidad (s/2)	0.60 cm
Sección del conductor	70.00 mm ²
Radio del conductor	0.0075 m

2. Cálculo de la resistencia (R1)

$$R1 = \frac{\rho}{4\pi L} \left[\ln\left(\frac{4L}{a}\right) + \ln\left(\frac{4L}{s}\right) - 2 + \left(\frac{s}{2L}\right) - \left(\frac{s}{4L}\right)^2 - 0,5\left(\frac{s}{2L}\right)^4 \right]$$

$$R1 = 9.64 \text{ ohm}$$

B. SISTEMA DE PUESTA A TIERRA N°2 (vertical)

1. Datos :

Resistividad del terreno	1000 ohm - m
Longitud de varilla (L)	2.40 m
Cantidad de sistemas verticales	6.00
Radio de varilla (5/8")	0.0079 m

2. Cálculo de la resistencia (R3)

$$R3 = \frac{\rho}{4\pi L} \left[\ln\left(\frac{4L}{a}\right) - 1 \right]$$

$$R2 = 202.19 \text{ ohm}$$

La resistencia total será entonces:

$$RT = \frac{1}{\left(\frac{1}{R1} + \frac{6}{R2}\right)}$$

$$RT = 7.50 \text{ ohm}$$

Si se considera aditivos para reducción del valor de la resistencia al 30%

$$RT = 2.25 \text{ ohm}$$



CÁLCULO DE BANCO DE CONDENSADORES

La potencia reactiva debe ser el 30% de la máxima demanda



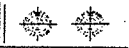

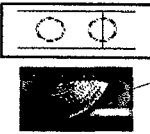

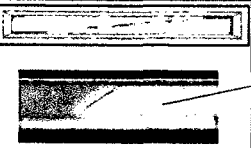

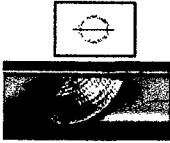



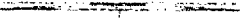
Item	Descripción	MD (kW)	Q (kVar)	Q (kVar) diseño
1	Servicios Generales	1,166.4	349.92	360



















ANEXO B

ITEMIZADO CON DESCRIPCIÓN DE LUMINARIAS TOTALES Y DISTRIBUCIÓN DE LUMINARIAS DE ACUERDO AL CORTE Y A CADA PLANTA DEL EDIFICIO








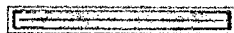







PROYECTO ILUMINACIÓN PARK OFFICE
ITEMIZADO CON DESCRIPCION DE LUMINARIAS TOTALES

#	ITEM	SIMBOLO	IMAGEN-MODELO	DESCRIPCION GENERAL	POTENCIA	MODELO MARCA	UBICACIÓN DE LUMINARIA	CANT TOTAL
ILUMINACION INTERIOR								
1	L01			LUMINARIA BOLLARD 1.0 MTS . LAMPARA AHORRADORA 20W/830. BALASTO INCORPORADO. IP 65 ANILLOS ANTIDESLUMBRANTES. ACABADO ALUMINIO GRAFITO	20W/830	LLEDO BEGA BOLLARD 8480	JARDIN DE AISLAMIENTO	23
2	L02			LUMINARIA EMPOTRADA ORIENTABLE TIPO MODULO DOBLE CON 2 SPOT LED 12W/ 830. DIMABLE 1-10V.FUENTE PODER INTEGRADA. ACABADO GRIS ALUMINIO	12W/830	LLEDO OD-3988	CC DOBLE ALTURA	24
3	L02A			LUMINARIA EMPOTRADA PARA 2 SPOT . LED 22W/ 830/3000°K/12V. HAZ SPOT.TRANSFORMADOR Y CONTROLADOR REMOTO. <u>RECESADO EN ACCESORIO TIPO CANAL METALICO PREFABRICADO POR PROVEEDOR SEGUN TRAMOS DONDE SE EMPOTRAN LUMINARIAS.</u>	22W/ 830	LLEDO OD-3988	CC DOBLE ALTURA	30
4	L03			LUMINARIA MODULAR EMPOTRADA . PARA TUBO TL5 1x54W/830/3000°K. DIFUSOR PRISMATICO. REFLECTOR INTERIOR DE ALUMINIO ESPECULAR. BALASTO ELECTRONICO REMOTO. <u>RECESADO EN ACCESORIO TIPO CANAL METALICO PREFABRICADO POR PROVEEDOR SEGUN TRAMOS DONDE SE EMPOTRAN LUMINARIAS.</u>	1x54W/830	LLEDO OD-3985	FOYER, INGRESO, CIRCULACION AREA DE SERVICIO, HALL.	78
5	L04			LUMINARIA EMPOTRADA PARA SPOT . LED 22W/ 830/3000°K/12V. HAZ MEDIO.TRANSFORMADOR Y CONTROLADOR REMOTO. RECESADO EN ACCESORIO TIPO CANAL METALICO PREFABRICADO POR PROVEEDOR SEGUN TRAMOS DONDE SE EMPOTRAN LUMINARIAS.	22W/830	LLEDO OD-3988	FOYER, INGRESO, CIRCULACION AREA DE SERVICIO, HALL.	98
6	L05			LUMINARIA EMPOTRADA EN PISO. PARA LAMPARA CDM-T 35W/ 830. OPTICA SPOT. DIFUSOR DE VIDRIO TEMPLADO SEMIOPAL CENTRAL. TRANSITABLE. IP65. EQUIPO ELECTRONICO REMOTO.	35W/830	LLEDO BEGA 8704	INGRESO	16
7	L06			LUMINARIA MODULAR EMPOTRADA . PARA TUBO TL5 1x28W/830 . DIFUSOR OPAL. BALASTO ELECTRONICO REMOTO.	1x28W/830	LLEDO ODELUX SL 16 OD-5200	BAÑOS S.U.M	43




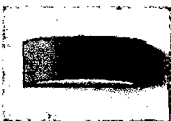


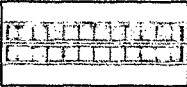









PROYECTO ILUMINACIÓN PARK OFFICE
ITEMIZADO CON DESCRIPCION DE LUMINARIAS TOTALES

#	ITEM	SIMBOLO	IMAGEN-MODELO	DESCRIPCION GENERAL	POTENCIA	MODELO MARCA	UBICACIÓN DE LUMINARIA	CANT TOTAL
8	L07			ESTACA ORIENTABLE PARA LAMPARA PAR LED 12W/830K/ E27. IP 65. ACCESORIO VISERA ANTIDESLUMBRANTE	18W/830	ARTEKNIA NAUTILUS SPIKE S227418	JARDINERA INTERIOR TERRAZA SOTANO1	21
9	L08			LUMINARIA EMPOTRADA. VIDRIO SEMI PAVONADO RECESADO. PARA LAMPARA LED 15W/840. FUENTE PODER INTEGRADA.	15W/840	LLEDO OD 3712 - 37122026R1000	CIRCULACION	28
10	L08 E			LUMINARIA EMPOTRADA. VIDRIO SEMI PAVONADO RECESADO. PARA LAMPARA LED 15W/840. FUENTE PODER INTEGRADA. CON KIT DE EMERGENCIA.	15W/840	LLEDO OD 3712 - 37122026R1000	CIRCULACION	31
11	L08A			LUMINARIA EMPOTRADA. VIDRIO SEMI PAVONADO RECESADO. PARA LAMPARA LED 22W/840. FUENTE PODER INTEGRADA.	22W/840	LLEDO OD 3712 - 37122026R1000	CIRCULACION	9
12	L09			DOWNLIGHT EMPOTRADO COMPACTA PLC 2X26W/830 BISEL CUADRADO DIFUSOR DE VIDRIO RECESADO. BALASTRO ELECTRONICO REMOTO	2X26W/830	ARTEKNIA CCT FLASH HAZ EXTENSIVO 54003EL	BAÑOS	73
13	L10			LINEA LED EXTERIOR SILICONADA LUZ CALIDA 15W X mt LINEAL 830/3000°K / FUENTE DE PODER REMOTA. INSTALADA EN PERFILERIA DE BARANDA EN EXTERIOR	15W / ML	OSRAM LINEAR FLEX	BARANDA EXTERIOR INGRESO	138 mts
14	L11			SPOT EMPOTRADO ORIENTABLE PARA DICOLED 7W/36°/830 GU10 220V.	7W/830	LLEDO LLEDS20000072	COMEDOR (USO INTERNO)	35
15	L12			SPOT EMPOTRADO DE BISEL CUADRADO C/VIDRIO RECESADO PARA 2x18W/ 840. BALASTO ELECTRONICO REMOTO.	2X18W/840	LLEDO 1087	CIRCULACION DE SERVICIO	30

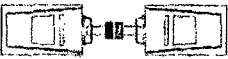

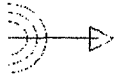

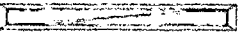


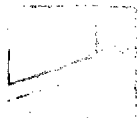
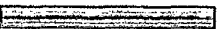
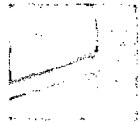






PROYECTO ILUMINACIÓN PARK OFFICE
ITEMIZADO CON DESCRIPCION DE LUMINARIAS TOTALES

#	ITEM	SIMBOLO	IMAGEN-MODELO	DESCRIPCION GENERAL	POTENCIA	MODELO MARCA	UBICACIÓN DE LUMINARIA	CANT TOTAL
16	L13			SPOT EMPOTRADO EN PISO PARA LAMPARA LED 15W/830 GU10 220V	15W/830	LLEDO BEGA 8704	TERRAZA	34
17	L14			LUMINARIA HERMETICA ADOSADO. EN LOSA O DINTEL PARA TUBO FLUORESCENTE TL5 2X28W/840. BALASTO INTEGRADO.	2x28w/840	LLEDO OD-8550 OD-8553	ESCALERAS, CUARTO DE DUCTOS	692
18	L15			BRAQUETE EXTERIOR DE RADIACION DIRECTA PARA LAMPARA HCI-TS 70W /840 , EQUIPO ELECTRONICO INCORPORADO H.M 2.50 mt NPT	70W/830	LLEDO BEGA 2396	TERRAZA	6
19	L16			LUMINARIA SUSPENDIDA TL5 1X28W/830 O TUBO LED. ILUMINACION DIRECTA E INDIRECTA FUENTE DE PODER INTEGRADO (SE SUSPENDE 25 CM DEL TECHO)	1X28W/830	VSLD CUSTOM SEGÚN DISEÑO	COMEDOR (USO INTERNO)	21
20	16A			LUMINARIA EMPOTRADA TL5 1X28W/830 O TUBO LED. ILUMINACION DIRECTA BALASTO REMOTO	1X28W/830	LLEDO OD-2981	COMEDOR (USO INTERNO)	4
21	L17			LUMINARIA MODULAR PARA 2 SPOT ORIENTABLES EMPOTRADO LAMPARA HALURO CERAMICO CDM-T 35W/830. LUZ CALIDA EQUIPO ELECTRONICO REMOTO .	35W/830	ARTEKNIA ARAH1102G	TERRAZA	6
22	L18			MODULO LED SUMERGIBLE 15W/830 BAJO PLACA DE CAIDA DE AGUA/12V/IP68 TRASFORMADOR REMOTO. INSTALADO DETRÁS DE PERFIL DE CAIDA DE AGUA	15W/830	ARTEKNIA TARGETTI LINEOS	PILETA	21
23	L19			LUMINARIA ORIENTABLE ADOSADA SUMERGIBLE LED RGB/55W CONTROLADOR REMOTO. PREPROGRAMADO.12V.	55W	PHILIPS CSPLASH 116000024	PILETA	7







**PROYECTO ILUMINACIÓN PARK OFFICE
ITEMIZADO CON DESCRIPCION DE LUMINARIAS TOTALES**

#	ITEM	SIMBOLO	IMAGEN-MODELO	DESCRIPCION GENERAL	POTENCIA	MODELO MARCA	UBICACIÓN DE LUMINARIA	CANT TOTAL
24	L20			BRAQUETE VERTICAL PARA TL5 14W/840 O TUBO LED 18W/840.H.M 1.35 mt NPT	14W/840 18W/840	LLEDO BEGA 4344	CIRCULACION	106
25	L21			BRAQUETE EXTERIOR ADOSADO PARA LED 2X10W/830 GU10 220V H.M: 2.00 mt NPT. (TÍPICO)	2X10W/830	LLEDO VEGA 3346	TERRAZA	4
26	L22			LINEA CINTA LED EN CENEFA. FLEXIBLE 15W X mt COLOR DE LUZ BLANCA. FUENTE DE PODER 220 REMOTO.	15W	OSRAM LINEAR FLEX	CIRCULACION	334
27	L23			LUMINARIA EMPOTRADA TL5 2X28W/830 C/REJILLA DE ALUMINIO.	2X28W/830	LLEDO OD-3231	AREA DE PROVEEDORES,CCTV, ATENCION,ADMINISTRACIÓN	18
28	L24			LUMINARIA LED EMPOTRADA A 30cm DEL PISO, EN MURO DE JARDINERA. PARA LAMPARA LED 4W/ 12V . FUENTE PODER REMOTA. IP44	4W/12V	LLEDO BEGA 2222	TERRAZA	29
29	L25			LUMINARIA ORIENTABLE LED SOBREPUESTA EN MURO INTERIOR JARDINERA. 75W RGB. CONTROLADOR REMOTO PRECONFIGURADO. FUENTE PODER INTEGRADA. 220V	75W RGB	LLEDO ODELUX 4825360007100 Y Y 4840000000000	TERRAZA	30
30	L26			LINEA CINTA LED EN CENEFA. FLEXIBLE 15W X mt COLOR DE LUZ AZUL . FUENTE DE PODER 220 REMOTO.	15W	OSRAM LINEAR FLEX	SUM	64 mts
31	L27			LUMINARIA EMPOTRADA TL5 2X28W/840. ILUMINACION DIRECTA. FUENTE DE PODER INTEGRADO	2X28W/840	LLEDO OD-2981	SALIDA DE ESTACIONAMIENTO	4

PROYECTO ILUMINACIÓN PARK OFFICE
ITEMIZADO CON DESCRIPCION DE LUMINARIAS TOTALES

#	ITEM	SIMBOLO	IMAGEN-MODELO	DESCRIPCION GENERAL	POTENCIA	MODELO MARCA	UBICACIÓN DE LUMINARIA	CANT TOTAL
32	L28			POSTE DE 3.5 MT CON 2 LUMINARIAS LATERALES CDM-T DE 35W/830 . ILUMINACION DIRECTA Y OPTICA ASIMETRICA. BALASTO INTEGRADO. OPCIONAL:PLACA SOLAR /LUMINARIA LED 30W/830. C/PLACA SOLAR	35W/830 30W/830	LLEDO BEGA 8142 / 791	SALIDA DE ESTACIONAMIENTO	1
33	L29			LUMINARIA EMPOTRADA EN ESCALAS. BISEL REDONDO. DIFUSOR DE VIDRIO EMPAVONADO. PARA LAMPARA LED 4W/ 12V. LUZ BLANCO CALIDO 2700°K. FUENTE DE PODER REMOTO.	4W/12V	LLEDO BEGA 3826	TERRAZA	14
34	LZ01			LUMINARIA MODULAR EMPOTRADA . PARA TUBO TL5 1x28W/840 . DIFUSOR PRISMATICO. BALASTO ELECTRONICO REMOTO.DIMABLE.	1x28W/840 DIMABLE	LLEDO OD-3985	SUM (USO INTERNO)	27
35	LZ03			LUMINARIA MODULAR EMPOTRADA . PARA TUBO TL5 2x28W/840 TRASLAPADOS Y DIFUSOR POLICARBONATO MICRO PRISMATICO . BALASTO ELECTRONICO INTEGRADO.	2x28W/840	LLEDO OD-2981/7	HALL ASCENSORES	22
36	LZ03 E			LUMINARIA MODULAR EMPOTRADA . PARA TUBO TL5 2x28W/840 TRASLAPADOS Y DIFUSOR POLICARBONATO MICRO PRISMATICO . BALASTO ELECTRONICO INTEGRADO. CON KIT DE EMERGENCIA.	2x28W/840	LLEDO OD-2981/7	HALL ASCENSORES	11
37	LZ04			BRAQUETE EXTERIOR DE RADIACION DIRECTA E INDIRECTA, PARA LAMPARA HCI-TS 150W /840 . EQUIPO ELECTRONICO INCORPORADO H.M 4.00 mt NPT	150W /840	LLEDO BEGA 2399	TERRAZA	6
38	LZ05			LUMINARIA EMPOTRADA . PARA TUBO TL5 1x54W/840 . DIFUSOR PRISMATICO. BALASTO ELECTRONICO REMOTO.	1x54W/840	ARTEKNIA ESEDRA	HALL DE ASCENSORES	11
39	LS03			LUMINARIA TIPO DOWNLIGHT PARA ADOSAR. PARA LAMPARA FLUORESCENTE COMPACTA PL-C 2X26W/840 4000°K. REACTOR ELECTRONICO INCORPORADO.	2X26W/840	ARTEKNIA DOWNLIGHT218	CIRCULACION HALL DE ASCENSORES, ESCALERA PATIO DE DESCARGA, CIRCULACION HALL DE ASCENSORES, ESCALERAS	

PROYECTO ILUMINACIÓN PARK OFFICE
ITEMIZADO CON DESCRIPCION DE LUMINARIAS TOTALES

#	ITEM	SIMBOLO	IMAGEN-MODELO	DESCRIPCION GENERAL	POTENCIA	MODELO MARCA	UBICACIÓN DE LUMINARIA	CANT TOTAL
40	LS04			BRAQUETE EXTERIOR MAX 25W/830 220V H.M 2.00 mt NPT	25W/830	ARTEKNIA ASTRA BAND 86023	CIRCULACION VEHICULAR, RAMPA VEHICULAR BAJA DE PISO 1	49
41	LS05			LUMINARIA INDUCCION 80W/4000K . LUZ BLANCA NEUTRAL. FUENTE DE ALIMENTACION INTEGRADA. CARCAZA DE ALUMINIO INYECTADO Y DIFUSOR DE POLICARBONATO ESTRIADO.	85W/4500K	CROMACORP PLASMA LIGHT	SOTANO CIRCULACION VEHICULAR	0
42	TMB			TOMA ELECTRICA 5KW/PARA RETROILUMINACION LED /4000°K. DE FRISOS PUBLICITARIOS.	5KW		FRISO PUBLICITARIO	2
43	TMC			TOMA ELECTRICA 2KW/PARA RETROILUMINACION LED /4000°K. DE FRISOS PUBLICITARIOS.	2KW		FRISO PUBLICITARIO	4

ANEXO C

ESQUEMA UNIFILAR DE LA DISTRIBUCIÓN DE TABLEROS ELÉCTRICOS Y CUADRO DE CARGAS

ANEXO D

SISTEMA DE VENTILACIÓN MECÁNICA Y CARGA ELÉCTRICA PARA EL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO Y VENTILACIÓN

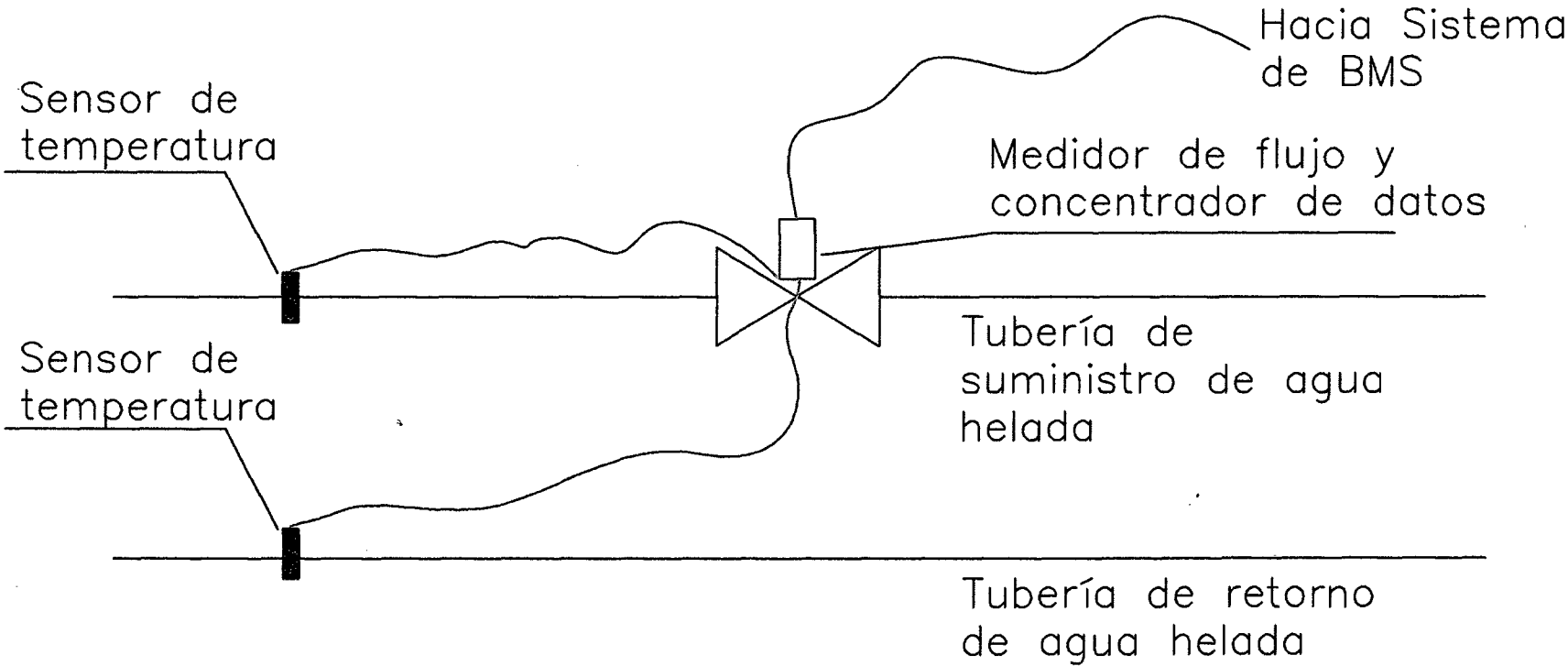
ANEXO E

DISTRIBUCIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN BMS Y MEDICIÓN DEL CONSUMO DE BTU PARA OFICINA Y LOCALES COMERCIALES

B-1
 MA-OF

Medición de consumo de BTU para oficinas y locales comerciales

			ENTRADA ANALOGA	ENTRADA BINARIA	SALIDA BINARIA	SALIDA ANALOGA	COMUNICACIÓN
Medidor de consumo de BTU en oficinas y locatarios	Medidor de consumo de BTU	Temperatura de agua en las tuberías de ingreso	X				
		Temperatura de agua en las tuberías de retorno	X				
		Flujo	X				
		Consumo de BTU					X



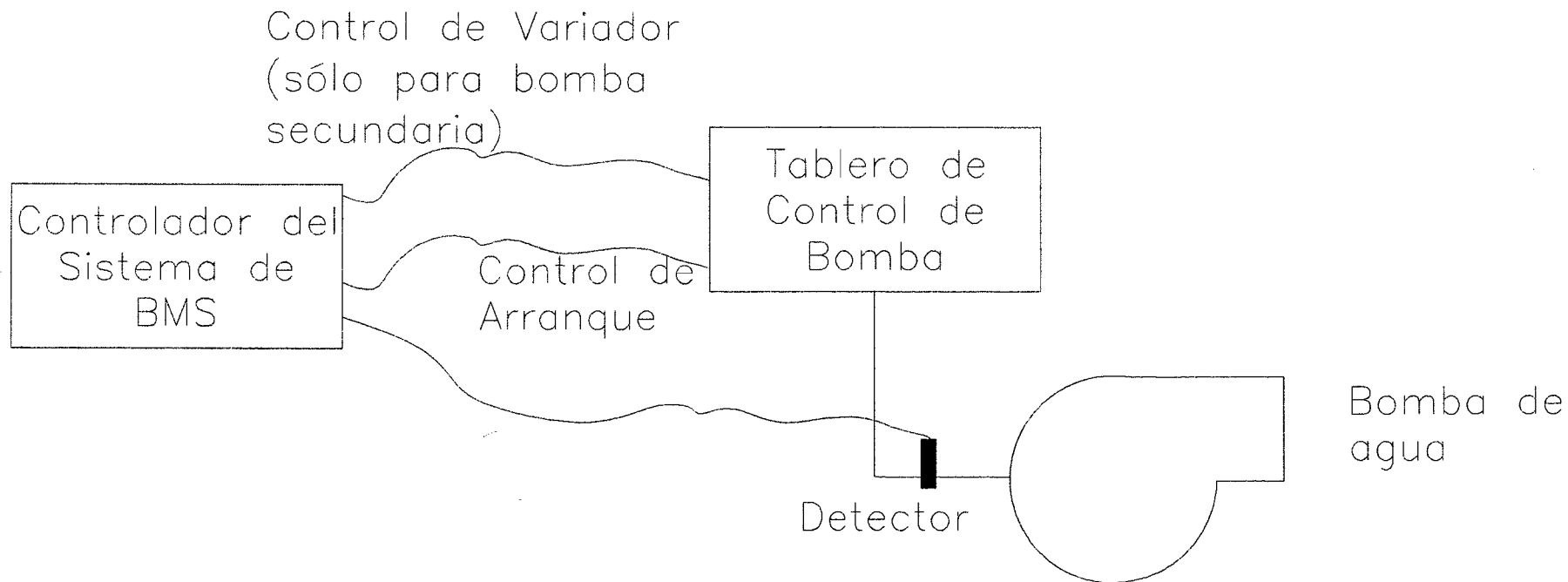
B-6
C-BP

B-5
C-BS

B-7
C-BC

Monitoreo y Control de Bombas de Planta de Agua Helada (Primaria, Secundaria, Enfriamiento y de Condensación)

		ENTRADA ANALOGA	ENTRADA BINARIA	SALIDA BINARIA	SALIDA ANALOGA
Bombas Secundarias	Equipo energizado		X		
	Control On/Off			X	
	Control de Variador de frecuencia				X
Bombas Primarias	Equipo energizado		X		
	Control On/Off			X	
Bombas de Condensacion	Equipo energizado		X		
	Control On/Off			X	
Bombas de Enfriamiento	Control On/Off			X	
	Equipo energizado		X		



ANEXO F

**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS USADOS EN
EL SISTEMA**

ANEXO G

HOJA DE DATOS DE LOS EQUIPOS DEL SISTEMA